



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

ESTUDO DA EVACUAÇÃO EM SCIE DE UM EDIFÍCIO DE GRANDE ALTURA, ANÁLISE PRESCRITIVA / DE DESEMPENHO

Ana Cecília Machado de Matos

Orientador: Professor Doutor Miguel Jorge Chichorro Rodrigues Gonçalves.....(Professor Auxiliar) – FEUP

Arguente: Doutor António Leça Coelho(Investigador Principal com Habilitação) – LNEC

Presidente do Júri: Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Batista.....(Professor Associado) – FEUP

2017



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt ISN: 3599*654



Telephone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Electrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha família, amigos e colegas, que me apoiaram durante todo o percurso que levou à concretização deste objetivo. Agradeço ainda ao meu Orientador Professor Doutor Miguel Chichorro Gonçalves pelo incentivo e apoio durante esta jornada. Como agradecimento especial incluo ainda o Eng. José Vieira, o Dr. António Gomes (responsável pelo condomínio da Torre das Antas) e o Eng. Pedro Maia, cujas participações foram fundamentais para a recolha de informação relevante para o desenvolvimento deste artigo.

RESUMO

Sendo o estudo de segurança contra incêndios cada vez mais um fator de elevada importância a nível da proteção da vida humana e consequentemente da salvaguarda do seu património e respetivo ambiente, torna-se assim aliciante a investigação desta temática. Um dos fatores mais preponderantes para a garantia da proteção da vida humana, como fator primordial relativamente aos restantes, é o estudo de evacuação dos ocupantes de um determinado edifício, em particular nos edifícios de grande ou muito grande altura, devido à sua evidente dimensão em altimetria. O presente documento aborda o estudo desta temática num edifício com estas características, nomeadamente a Torre das Antas localizada no Porto. A investigação realizada e retratada neste documento, teve como objetivo apresentar um conjunto de elementos de estudo relativos à evacuação do Edifício da Torre das Antas, com base numa análise considerada como baseada no desempenho, com recurso a um modelo computacional designado *Pathfinder* e a um cálculo numérico desenvolvido com base no capítulo 2 da secção 4 do Handbook da NFPA 2008 “Calculation Methods for Egress Prediction - Chapter 2”. Com os resultados obtidos, efetuou-se uma análise às condições de evacuação existentes, verificando se estas podem ser consideradas adequadas para um edifício com estas características.

Palavras-chave: simulador de evacuação, análise de desempenho, *pathfinder*, SCIE.

ABSTRACT

The study of fire safety is essential to protection of human life and consequently the safeguarding of its heritage and environment, therefore is fascinating to investigate this issue. One of the most important factors to guaranteeing the protection of human life, as a primary factor, is the study of evacuation, particularly in buildings with high or very high height, because their evident size in altimetry. This document presents the study of evacuation in a building with these characteristics, namely Torre das Antas located in Oporto. The research presented in this document, intended to study the evacuation of Torre das Antas based on a performance analysis using a computational model named Pathfinder and numerical calculation based on Chapter 2 of Section 4 of the NFPA 2008 Handbook "Calculation Methods for Egress Prediction - Chapter 2". With the results obtained, it was possible to analyze if the existing evacuation conditions can be considered appropriate for a building with these characteristics.

Keywords: crowd simulator, performance analysis, *pathfinder*, fire security.

TABLE OF CONTENTS

1	INTRODUÇÃO.....	3
1.1	Legislação de SCIE	3
1.2	Legislação aplicada ao estudo da Evacuação	4
1.3	Estatísticas de Incêndios.....	4
1.4	Âmbito e Objetivos.....	5
1.5	Fatores que condicionam a evacuação	6
1.5.1	Fatores Humanos	6
1.5.2	Fatores associados às características do Edifício	7
1.6	Estrutura do Documento.....	8
2	ESTADO DA ARTE - ARTIGO DE REVISÃO SISTEMÁTICA.....	10
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
4	RESULTADOS	25
5	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	41
5.1	Conclusões.....	41
5.2	Perspetivas Futuras	41
6	BIBLIOGRAFIA	43

ÍNDICE DE FIGURAS – DOCUMENTO PRINCIPAL

Fig. 1 – Comportamento Humano em caso de incêndio	7
---	---

ÍNDICE DE FIGURAS – ARTIGO REVISÃO SISTEMÁTICA

Fig. 1 – Diagrama de processo de pesquisa	18
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS – ARTIGO RESULTADOS

Fig. 1 – Torre das Antas.	28
Fig. 2 – Torre das Antas (Pathfinder 2015).....	30
Fig. 3 – Torre das Antas – Piso 16.	31
Fig. 4 – Tabela 4.2.2 do Capítulo 2 da secção 4 da norma Handbook da NFPA 2008.....	31
Fig.5 – Tabela 4.2.5 do Capítulo 2 da secção 4 da norma Handbook da NFPA 2008.....	31
Fig.6 – Tabela 4.2.8 do Capítulo 2 da secção 4 da norma Handbook da NFPA 2008.....	32
Fig.7 – Tabela 4.2.6 do Capítulo 2 da secção 4 da norma Handbook da NFPA 2008.....	33
Fig.8 - Pathfinder 2015, tempo de evacuação (s) de acordo com o efetivo evacuado.	34
Fig.9 - Pathfinder 2015, congestionamento de S.E.	35

ÍNDICE DE TABELAS – DOCUMENTO PRINCIPAL

Tabela 1 – Número de incêndios urbanos registados na ANPC entre os anos 2006 e 2010	4
Tabela 2 – Mortes a nível mundial entre os anos 2008 a 2010 por número de habitantes.....	5

ÍNDICE DE TABELAS – ARTIGO REVISÃO SISTEMÁTICA

Tabela 1 – Estratégia de Pesquisa	18
---	----

ÍNDICE DE TABELAS – ARTIGO RESULTADOS

Tabela 1 – Torre das Antas, caraterização.	28
Tabela 2 – Torre das Antas, não conformidades (análise prescritiva).	29
Tabela 3 – Pathfinder2015, comportamentos (behavior) definidos nas simulações.	30
Tabela 4 – Resultados das simulações efetuadas com recurso ao Pathfinder 2015, incluindo a possível existência de zonas de refúgio.....	35
Tabela 5 – Resultados da simulação de evacuação do piso 16 ao piso 4 através da zona refúgio prevista para o Piso 4 com 1U.P., de acordo com a Handbook da NFPA 2008	36
Tabela 6 – Pathfinder 2015 - Resultados das simulações de evacuação com recurso à utilização de elevadores.	37

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

a – Constante (0,266)

ANPC – Autoridade Nacional de Proteção Civil

BSB – Batalhão Sapadores de Bombeiros

D – Densidade

d_1 – distância a vencer entre pisos consecutivos da via vertical de evacuação 1

d_2 – distância a vencer entre pisos consecutivos da via vertical de evacuação 2

d_{p1} – distância a percorrer do patamar da via vertical de evacuação 1

d_{p2} – distância a percorrer do patamar da via vertical de evacuação 2

F_c – Fluxo inicial

$F_{c(S1)}$ – Fluxo inicial da saída de emergência 1

$F_{c(S2)}$ – Fluxo inicial da saída de emergência 2

$F_{c(V1)}$ – Fluxo inicial da via vertical de evacuação 1

$F_{c(V2)}$ – Fluxo inicial da via vertical de evacuação 2

F_s – Fluxo específico

$F_{s(in)}$ – Fluxo específico de ponto de entrada

$F_{sin(V1)}$ – Fluxo específico de ponto de entrada da via vertical de evacuação 1

$F_{sin(V2)}$ – Fluxo específico de ponto de entrada da via vertical de evacuação 2

$F_{s(out)}$ – Fluxo específico de ponto de saída

$F_{sout(V1)}$ – Fluxo específico de ponto de saída da via vertical de evacuação 1

$F_{sout(V2)}$ – Fluxo específico de ponto de saída da via vertical de evacuação 2

F_{sm} – Fluxo máximo específico

$F_{s(S1)}$ – Fluxo específico da saída de emergência 1

$F_{s(S2)}$ – Fluxo específico da saída de emergência 2

$F_{s(V1)}$ – Fluxo específico da via vertical de evacuação 1

$F_{s(V2)}$ – Fluxo específico da via vertical de evacuação 2

h – Altura do piso

k – constante (1,4)

NFPA – National Fire Protection Association

PSP – Polícia de Segurança Pública

REGEU – Regulamento Geral de Edificações Urbanas

RJ-SCIE – Regulamento Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios

RT-SCIE - Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndios em Edifícios

S – Velocidade

SADI – Sistema Automático de Detecção de Incêndios

SCIE – Segurança contra Incêndios em Edifícios

S.E. – Saída de Emergência

S_1 – Saída de emergência 1

S_2 – Saída de emergência 2

$t_{1(V1)}$ – tempo despendido para efetuar a descida piso a piso da via vertical de evacuação 1

$t_{2(V2)}$ – tempo despendido para efetuar a descida piso a piso da via vertical de evacuação 2

U.P. – Unidade de Passagem

U.T. – Utilização-Tipo

V.H. – Via Horizontal de Evacuação

V.V. – Via Vertical de Evacuação

V_1 – Via vertical de evacuação 1

V_2 – Via vertical de evacuação 2

W_e – Dimensão efetiva

$W_e S_1$ – Largura efetiva da saída de emergência 1

$W_e S_2$ – Largura efetiva da saída de emergência 2

W_{eh} – Largura efetiva da via horizontal de evacuação

$W_e V_1$ – Largura efetiva da via vertical de evacuação 1

$W_e V_2$ – Largura efetiva da via vertical de evacuação 2

$W_{e(in)}$ – Dimensão efetiva de ponto de entrada

$W_{e(in(V1))}$ – Dimensão efetiva de ponto de entrada da via vertical de evacuação 1

$W_{e(in(V2))}$ – Dimensão efetiva de ponto de entrada da via vertical de evacuação 2

$W_{e(out)}$ – Dimensão efetiva de ponto de saída

$W_{e(out(V1))}$ – Dimensão efetiva de ponto de saída da via vertical de evacuação 1

$W_{e(out(V2))}$ – Dimensão efetiva de ponto de saída da via vertical de evacuação 2

WTC – World Trade Center

2D – Duas Dimensões

3D – Três Dimensões

PARTE 1

1 INTRODUÇÃO

Desde o princípio dos tempos que o fogo fascina o homem. A sua evolução permitiu saber usá-lo em seu benefício, tanto para se proteger de animais selvagens como para promover o seu aquecimento, a sua alimentação ou mais recentemente para usos científicos e laboratoriais.

Como qualquer outro elemento que apresenta um elevado potencial, é fundamental saber como controlar esta fonte de energia, uma vez que o seu descontrolo por razões humanas ou naturais, pode provocar danos físicos e materiais com avultados custos para a sociedade.

O estudo da evacuação, em edifícios ou recintos ao ar livre, é uma temática cada vez mais estudada por caraterizar a proteção da vida humana em caso de descontrolo desta fonte de energia. Assim sendo o conhecimento da legislação de SCIE em vigor e a sua correta implementação, torna-se fundamental para o combate e controlo do incêndio, bem como para a correta implementação de vias de evacuação, horizontais e verticais, que permitam os ocupantes evacuar de uma forma rápida, segura e intuitiva.

1.1 Legislação de SCIE

O anterior quadro regulamentar de SCIE era caraterizado pela existência de diversos e dispersos diplomas, nomeadamente, resoluções do Conselho de Ministros, Decretos-Lei, Decretos Regulamentares e Portarias. [SEP] Apesar da extensão deste quadro normativo, verificaram-se algumas lacunas e omissões consideradas importantes. Tal devia-se essencialmente à não existência de regulamentos específicos de segurança contra incêndio para um conjunto determinado de edifícios e estabelecimentos, como era o caso das instalações tipo industriais, armazéns, lares de idosos, museus, bibliotecas, arquivos e locais de culto. Neste tipo de edifícios aplicava-se apenas o Regulamento Geral das Edificações Urbanas ([“RGEU,” n.d.](#)), de 1951, que se verificava insuficiente para as particularidades dos edifícios em questão. [SEP] Nesse sentido, a Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC), resolve promover a elaboração de um regulamento geral de segurança contra incêndio em edifícios, de forma a que este substitui-se os 16 dispersos diplomas, alargando assim a sua aplicação a todos os tipos de edifícios e recintos.

A 9 de Outubro de 2015, em Diário da República, é publicado o Dec. Lei n.º 224/2015, que procede à primeira alteração do Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro, que estabelece o regime jurídico da segurança contra incêndio em edifícios (RJ-SCIE).

O Dec. Lei n.º 224/2015 apresenta algumas alterações relativamente ao Dec. Lei n.º 220/2008, sendo uma das principais permitir a sua adequada aplicação a edifícios existentes, onde no seu Artigo n.º 14A, indica que neste tipo de casos, é possível efetuar uma análise através do recurso a métodos de análise de risco, métodos de ensaio ou modelos de cálculo baseados em novas tecnologias aprovadas pela ANPC. Este tipo de análise considerada como análise baseada no desempenho, torna-se assim fulcral para o estudo deste tipo de edifícios.

1.2 Legislação aplicada ao estudo da Evacuação

O RT-SCIE, apresenta um conjunto de artigos e especificações relativas à análise da evacuação. A sua adequada implementação, pressupõe que exista a garantia de uma evacuação segura e eficaz dos ocupantes de um determinado edifício e/ou recinto.

Esta abordagem inicia-se no TÍTULO IV “Condições gerais de evacuação” desde o Artigo n.º 50 até ao Artigo n.º 68. Estes artigos abordam todas as especificações relacionadas com a evacuação, desde a determinação das características das vias de evacuação horizontais e verticais, de acordo com o efetivo determinado e que lhes acede, bem como a definição das saídas de emergência a nível da sua quantidade, dimensão e localização, de forma a cumprir com as distâncias máximas a percorrer até às mesmas. A legislação faz referência também à implementação de zonas de refúgio, quando as características do edifício obriga à sua consideração.

1.3 Estatísticas de Incêndios

A importância dos incêndios urbanos e o seu impacto na sociedade, é visível na análise de estudos estatísticos a nível nacional e internacional. No que se refere às estatísticas de incêndios urbanos verificados em Portugal e registados no sítio da ANPC, verificaram-se um total de 10.045 incêndios urbanos registados no ano 2010. ([APSEI, n.d.](#)).

Tabela 1 – Número de incêndios urbanos registados na ANPC entre os anos 2006 e 2010

Número de Incêndios Urbanos Registados pela ANPC					
Tipo de Edifício	2006	2007	2008	2009	2010
Edifício de habitação	7.000	7.300	7.200	7.200	7.439
Estacionamento	65	60	80	60	55
Edifício de serviços	270	250	167	180	235
Equipamento escolar	120	130	130	150	161
Equipamento hospitalar e lar de idosos	80	95	65	100	88
Edifício de espectáculo, lazer e culto religioso	70	80	65	75	69
Hotelaria e similares	450	490	470	430	448
Edifício comercial	430	350	300	290	290
Edifício cultural	20	25	20	30	23
Indústria, oficina e armazém	1.000	1.230	1.100	1.100	1.237
TOTAL	9.505	10.010	9.597	9.615	10.045

Fonte: Anuários de Ocorrências de Protecção Civil - ANPC

No que se refere ao número de vítimas mortais, a nível mundial, Portugal encontra-se na posição 8ª com um rácio de 0,57 mortes por 100.000 habitantes entre o ano 2008 a 2010 ([Association, 2014](#)).

Tabela 2 – Mortes a nível mundial entre os anos 2008 a 2010, por número de habitantes

Country	Addition (%)	Adjusted Figures (Fire Deaths)			Deaths Per 100,000 Population (2008-2010)
		2008	2009	2010	
Singapore	10	1	1	1	0.02
Switzerland	15	30	25	25	0.34
Italy	25	285	285	240	0.45
Netherlands	5	100	60	70	0.46
Austria	5	55	40		0.47 [2007-2009]
Slovenia	5	10	10	10	0.49
Spain	25	270	205	235	0.52
Portugal	Nil.	65	55	60	0.57
Germany	25	500	540	465	0.60
Australia	Nil.	120	270	90	0.73
United Kingdom	5	475	460	445	0.75
Canada	10	295	240		0.77 [2007-2009]
New Zealand	Nil.	35	40	25	0.77
France	25	595	595		0.96 [2007-2009]
Greece	25	130	110	110	1.05
United States	6.4	3,650	3,300	3,400	1.11
Norway	0.5	70	55	40	1.14
Ireland	25	45	55	55	1.17
Belgium	25				1.21 [2004]
Czech Republic	10	150	130	145	1.35
Denmark	Nil.	90	70	65	1.36
Sweden	12.5	130	140	145	1.49
Japan	2	2,000	1,950	1,800	1.51
Poland	5	585	565	595	1.52
Hungary	Nil.	180	140	140	1.53
Barbados	Nil.	5			1.65 [2007-2008]
Romania	Nil.	410	355	395	1.76
Finland	5	110	120	95	2.03

1.4 Âmbito e Objetivos

Para a realização deste estudo, optou-se pela escolha de um edifício de grandes dimensões em altimetria, de utilização mista e localizado na cidade do Porto, nomeadamente a Torre das Antas.

O estudo apresentado centrou-se essencialmente na temática da evacuação, nas verificações do cumprimento ou não do atual regulamento e análise se o seu possível incumprimento pode condicionar ou não uma adequada evacuação dos seus ocupantes a nível de SCIE. Observação para o facto do edifício ter sido projetado e construído numa época onde não se dava a devida importância aos impactos que um incêndio poderia ter num edifício com estas características. O Edifício Torre das Antas teve o início da sua construção no ano de 1995, tendo obtido o Alvará de Licença de Utilização em 16 de novembro de 1998, emitido pela Câmara Municipal do Porto.

A aplicação do RJ-SCIE e RT-SCIE que contempla a análise para todo o tipo de edificações, foi uma das vertentes utilizadas neste estudo, possibilitando confirmar se as condições de evacuação existentes cumprem ou não esta mesma regulamentação.

Considerou-se ainda a aplicação do modelo *Pathfinder*, uma ferramenta computacional que permite determinar o tempo estimado de evacuação do edifício, possibilitando ainda verificar quais os pontos críticos de acumulação de efetivo a evacuar.

Realizou-se igualmente um cálculo numérico com recurso ao capítulo 2 da secção 4 do Handbook da NFPA 2008 “*Calculation Methods for Egress Prediction - Chapter 2*”, tendo-se efetuado uma comparação entre os resultados obtidos com esta norma, com o modelo *Pathfinder* e com o simulacro já realizado pela ANPC àquelas instalações.

Por fim e com todos os resultados obtidos, efetuou-se uma análise de desempenho vs. prescritiva ao caso de estudo, e quais os seus possíveis impactos no estudo da evacuação e consequentemente na segurança dos seus ocupantes, incluindo ainda a possibilidade de utilização de elevadores em caso de incêndio para evacuação de ocupantes com determinadas características, apesar de atualmente a legislação nacional não o permitir. Analisou-se ainda a possibilidade de inclusão de zonas de refúgio adequadamente localizadas.

1.5 Fatores que condicionam a evacuação

Existem diversos fatores que podem condicionar uma correta evacuação. Estes são analisados em dois grandes grupos, os que se caracterizam pelo comportamento e reação das pessoas perante o alarme de incêndio e os que se prendem especificamente pelas características do edifício e a sua organização.

1.5.1 Fatores Humanos

Existem diversos fatores humanos que podem condicionar a evacuação, entre eles destaca-se a idade e o estado físico e psíquico. A idade tem uma influência direta sobre a capacidade de locomoção das pessoas, principalmente em pessoas idosas e/ou crianças. A nível psíquico em pessoas com este tipo de deficiência ou deficiência física e/ou motora, também prejudicam numa correta tomada de decisão no ato da evacuação.

Sendo que cada pessoa apresenta as suas próprias características, a evacuação das mesmas pode ainda ser condicionada por outros tipos de fatores, nomeadamente a forma como as pessoas reagem e percebem o alarme, podendo assim causar estados de pânico, sendo este um sentimento humano que se caracteriza pela parcial perda de controlo das suas reações. O sentido de orientação é também um fator de elevada importância durante a evacuação, as pessoas têm por hábito e em caso de emergência sair pela mesma porta por onde entraram, podendo assim percorrer distâncias superiores às necessárias.

A [Figura 1](#) representada alguns dos fatores humanos e o seu relacionamento, em caso de fuga num sinistro de incêndio.

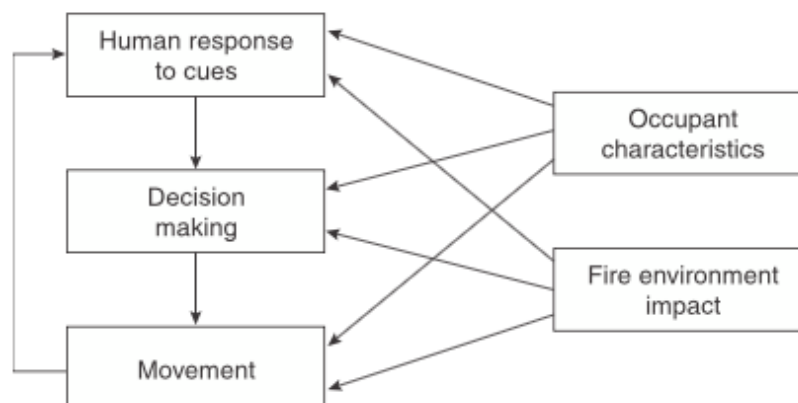


Fig. 1 – Comportamento Humano em caso de incêndio ([Proulx, Guylène; L. Bryan, John; F. Fahy, Rita; K.Lathrop, James; J. Fruin, Jonh; Cohn, Bert; J. O'Connor, n.d.](#))

1.5.2 Fatores associados às caraterísticas do Edifício

No caso de edifícios existentes, existem fatores arquitectónicos que podem influenciar negativamente uma correta evacuação. Esta situação verifica-se quando estas caraterísticas impossibilitam uma correta definição das vias horizontais e verticais de evacuação, bem como a impossibilidade de inclusão de zonas de refúgio (nos casos em que se aplica).

Estas vias devem ser criteriosamente definidas e posicionadas, de forma a cumprir com as distâncias a percorrer, bem como serem capazes de albergar o efetivo que lhes acede.

Outro fator a ter em consideração são as portas de acesso às vias horizontais e verticais, estas devem igualmente ser dimensionadas de acordo com o efetivo a evacuar, de forma a evitar possíveis estrangulamentos.

Em edifícios de grande ou muito grande altura, surge a necessidade legal de prever zonas consideradas de refúgio, estas devem ser adequadamente localizadas e dimensionadas de acordo com o efetivo esperado.

Uma adequada definição dos sistemas de segurança previstos para o edifício, representa igualmente um fator importante para a análise da evacuação. Entre eles, destaca-se a existência de sistemas de detecção (SADI), adequadamente definido que permite que os ocupantes sejam alertados para o sinistro em tempo considerado adequado. A existência de um sistema de controlo de fumos que permita facilitar a visibilidade durante a evacuação, bem como a prevenção de inalação de fumos pelos seus ocupantes, é igualmente um fator a ter em consideração. As adequadas compartimentações corta-fogo principalmente nas suas vias de evacuação, horizontais e verticais, que permitam uma fuga segura e eficaz, bem como a formação de uma equipa ou equipas de segurança que em algumas situações possam promover uma evacuação faseada, de forma a evitar estrangulamentos e danos nas pessoas em caso de evacuação, são fatores igualmente a serem analisados e implementados.

1.6 Estrutura do Documento

No Capítulo 1 trata-se essencialmente de fazer uma introdução a nível teórico de conceitos relacionados com fogo, incêndio, evacuação e o seu enquadramento histórico, bem como uma descrição da regulamentação de SCIE em vigor, com incidência na evacuação, bem como identificação dos objetivos pretendidos com a elaboração deste documento.

Em relação ao Capítulo 2, apresenta-se o Estado da Arte em formato de artigo de revisão sistemática, com a abordagem a artigos publicados sobre a temática em estudo e as suas principais conclusões.

Já no Capítulo 3, faz-se uma descrição dos Materiais e Métodos escolhidos para o desenvolvimento do segundo artigo apresentado no Capítulo 4.

Relativamente ao Capítulo 4, apresenta-se artigo de desenvolvimento com a descrição completa do estudo realizado, resultados obtidos e algumas conclusões.

Finalmente no Capítulo 5, enumeram-se as conclusões gerais do estudo, dando as indicações mais importantes que foram desenvolvidas ao longo de todo o trabalho desenvolvido.

2 ESTADO DA ARTE - ARTIGO DE REVISÃO SISTEMÁTICA

Este capítulo apresenta-se de seguida em formato de artigo.

Matos, Ana
Chichorro, Miguel

ABSTRACT: In high-rise buildings, the study of evacuation becomes one of the primary analysis factors in Fire Security. This review was based on relevant articles, about this subject, published in the following databases, Academic Search Complete, IEEEExplore, Inspec, Science Direct, Scopus and Web of Science. In this analysis it was verified that the software Pathfinder, ExodusBuilding and Simulex, are the most used in this type of studies. It was also verified, during research developed, there are several factors that can influence evacuation, such as characteristics of the person (age, weight, behaviour, disabilities), use of elevators, smoke presence, time to alarm and correct indication of escape routes. 8 articles were included in the systematic review. Future research, it should be focused on improving existing software, so that a single software allows the joint analysis of all these factors, which condition the most accurate analysis of the evacuation in a particular Building. It is intended not modify any of the mentioned software but analyse the evacuation assessment capability of a specific Building using Pathfinder, to promote potential criticisms of improvement or confirmation of positive aspects of that software. This analysis detailed will allow, at the design stage, define the evacuation routes and respective widths, adequate to the evacuation of the people that access them, in safety conditions considered favourable. The correlation of the evacuation model with the prescriptive analysis of the Portuguese regulation, will also allow us to obtain the conclusions about the qualitative evaluation of the numerical model and even the safety code.

KEYWORDS: FIRE, HIGH-RISE BUILDING, EVACUATION TIME, CROWD SIMULATION SOFTWARE, PATHFINDER.

PRESENTATION PREFERENCE: ORAL

1. INTRODUÇÃO

A avaliação da evacuação de um edifício a nível de projecto e atendendo às condições de um sinistro de incêndio, é realizada através de uma análise prescritiva, tendo por base a legislação de segurança contra incêndios atualmente em vigor.

Esta análise permite simplificar a verificação das condições de evacuação em projeto, de acordo com o estado de arte na matéria evacuação.

Perante a evolução da ciência e tendo a Segurança contra Incêndios em edifícios (SCIE) como objetivo primordial a salvaguarda da vida, parece pois ser de grande importância a avaliação em projeto da real capacidade de evacuação de um edifício através de uma simulação numérica capaz de quantificar o tempo de evacuação total do edifício em estudo e não apenas perante o exercício de simulacro, que para além do mais

apresenta limitações. Maior razão assiste se se estiver a fazer a análise de evacuação de um edifício existente, a qual perante uma análise baseada no desempenho, permite mitigar algumas situações de constrangimento ao fluxo de evacuação que se possa verificar.

Estes constrangimentos podem-se verificar devido a diversos fatores conforme referido pelos Autores, (Kobes, Helsloot, de Vries, & Post, 2010), (Thompson, Nilsson, Boyce, & McGrath, 2015), (Jeongin Koo, Yong Seog Kim, Byung-In Kim, & Christensen, 2013), (Ding, Yang, Weng, Fu, & Rao, 2015), (Sagun, Bouchlaghem, & Anumba, 2011) e (Yuan, Fang, Wang, Lo, & Wang, 2009). Pretende-se com este artigo de revisão sistemática e através do estudo de um edifício de importância elevada, contribuir para o conhecimento das implicações das análises de desempenho e prescritiva no resultado do projeto no que se refere ao estudo da evacuação.

2. METODOLOGIA

2.1 Estratégia de Pesquisa

A pesquisa de revisão sistemática efetuada, teve por base a análise de artigos cuja temática de estudo se centrou no estudo da evacuação de edifícios de grande altura em caso de sinistro de incêndio.

A estratégia de pesquisa foi abrangente, possibilitando assim localizar o mais amplo espectro de artigos possível para análise, tendo sido realizada em seis bases de dados eletrónicas diferentes, a saber: *Academic Search Complete*, *IEEEExplore*, *Inspec*, *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*. A pesquisa final foi desenvolvida durante o mês de Dezembro de 2016.

No que se refere às palavras-chave definidas para a pesquisa, estas foram as seguintes: *Fire*, *High-rise Building*, *Evacuation Time*, *Crowd Simulation Software* e *Pathfinder*.

Foram efetuadas três combinações de palavras-chave: “*evacuation time, fire, high-rise building*”, “*crowd simulation, fire*”; “*Pathfinder, fire*”.

No [Anexo A](#) encontra-se definida a estratégia de pesquisa definida para cada uma das bases de dados consideradas.

2.2 Critérios de Seleção

Os artigos obtidos através da pesquisa sistemática foram exportados para a biblioteca *Mendeley Desktop Version 1.17.6*. A exclusão de artigos irrelevantes foi realizada usando uma abordagem sistemática com base em três etapas: 1 - os títulos foram examinados quanto à sua relevância, 2 – leitura dos resumos (em particular, objetivos e métodos), e 3 – leitura do artigo completo. Nos casos em que a leitura do título ou resumo não forneceram informações suficientes para determinar se os critérios de inclusão / seleção estavam satisfeitos, automaticamente passou-se à etapa seguinte.

Alguns artigos foram automaticamente excluídos quando se verificou uma destas seguintes situações: 1 - artigos não disponíveis para consulta 2 - artigos escritos numa língua que não em inglês 3 – artigos sem resumo disponível, 4 – artigos sem autor definido, 5 – artigos com abordagem a estudos que não

incluíam edifícios em altura, 6 – artigos sem definição de um método de análise objetivo que permitisse avaliar o desenvolvimento da evacuação em caso de incêndio.

Os artigos repetidos foram removidos.

2.3 Critérios de Elegibilidade

Foram incluídos artigos na revisão efetuada, nos casos em que pelo menos uma destas seguintes condições foram verificadas: 1 - artigos que consideraram a evacuação em edifícios de grande altura em caso de incêndio, 2 - artigos que referiram vários tipos de condicionantes à evacuação em caso de incêndio, 3 – artigos que abordaram os diferentes métodos de análise que podem ser considerados nestes estudos, 4 – artigos que abordaram casos de estudos com relevância para a temática em estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Revisão Bibliográfica

A estratégia de pesquisa identificou um total de 6691 artigos antes da remoção dos repetidos. Excluindo os não relevantes (6083 artigos) e retirando os repetidos (69 artigos), foram analisados 539 artigos em título, resumo e em alguns casos em texto integral. Após a aplicação dos critérios de elegibilidade, foram excluídos 532 artigos, tendo ficado com um total de 8 artigos considerados para análise final, um dos quais incluído através da análise da bibliografia de artigos seleccionados. O [Anexo B](#) ilustra o fluxograma da estratégia de pesquisa.

Dois artigos de revisão foram considerados. ([Vermuyten, Belin, Boeck, Reniers, & Wauters, 2016](#)) apresentam um artigo de revisão referente ao uso de modelos de otimização para evacuação de pessoas e respetivos inconvenientes na utilização dos mesmos. ([Kobes et al., 2010](#)) por sua vez faz uma revisão à literatura existente relativamente aos fatores que influenciam a evacuação num determinado edifício.

Foram incluídos dois artigos que analisam o impacto das características humanas na definição do fluxo da evacuação. ([Thompson et al., 2015](#)) fazem referência mais concretamente à idade e obesidade dos

ocupantes, tendo concluído que a influência destes fatores tem um impacto negativo de cerca de 20% no fluxo de evacuação, que compreende o produto entre a velocidade e a densidade dos ocupantes a evacuar.

([Jeongin Koo et al., 2013](#)) por outro lado introduzem um outro fator de análise ao estudo de evacuação, que é o impacto da mesma com a existência de pessoas com deficiência motora e a sua possibilidade de evacuação através do uso de elevadores. Estes autores concluem que existe uma melhoria no tempo de evacuação na ordem dos 21,5% na utilização de elevadores para pessoas com deficiência motora. Este estudo distingue-se dos restantes, uma vez que engloba no seu estudo a possibilidade da existência de pessoas com deficiência motora para efeitos de evacuação.

Foram ainda introduzidos alguns artigos que abordam casos de estudo na área de evacuação em caso de sinistro de incêndio.

([Ding et al., 2015](#)) apresentam um destes casos, o qual referem o problema das estratégias de evacuação que utilizam uma combinação entre escadas e elevadores, para edifícios de grande altura. Os resultados obtidos permitiram constatar que o tempo de evacuação considerando esta combinação entre elevadores e escadas, pode ser reduzido em 24,3%, em comparação com o uso de apenas escadas considerado na maioria dos estudos.

([Sagun et al., 2011](#)), abordam uma nova temática que se centraliza numa abordagem à análise das características arquitectónicas dos edifícios e a forma como estes influenciam uma correta evacuação. Estes Autores indicam que a maioria das orientações atuais tem em consideração que o uso das saídas de emergência são equilibradas durante o processo de evacuação. No entanto, verifica-se que na vida real, existem fatores que influenciam a escolha destas em caso de emergência, portanto, o cumprimento dos requisitos legais em fase de Projeto, não é uma garantia de eficiência em caso de evacuação. O estudo apresentado indica ainda que o uso desequilibrado das saídas aumenta o tempo de evacuação em cerca de 20%, quando comparado com o uso equilibrado das mesmas.

([Yuan et al., 2009](#)) estes Autores apresentam uma abordagem inovadora na análise da evacuação relativamente à tradicional, que é regida por regulamentos prescritivos que não têm em consideração os diferentes componentes que podem interferir numa adequada evacuação. Esta abordagem baseada no desempenho, através da utilização de modelos de evacuação simulados em computador, visam melhorar a análise dos Projetistas relativamente à definição das vias de evacuação, ainda em fase de Projeto.

([Wu & Huang, 2015](#)) utilizam à semelhança de ([Yuan et al., 2009](#)) um modelo designado como modelo de controle de volume, o qual combina os modelos macroscópicos ou grosseiros e os modelos microscópicos ou finos, como modelo baseado no desempenho em detrimento dos prescritivos mais comumente utilizados.

3.2 Condicionantes à evacuação

Existem diversos fatores que podem influenciar uma correta evacuação de um determinado edifício em caso de incêndio.

([Kobes et al., 2010](#)) faz referência a vários destes fatores, tendo em particular atenção aos seguintes: características do fogo; características humanas e características do edifício. Relativamente às características do fogo, estas têm relação com a dimensão do edifício, velocidade de propagação deste de acordo com as características dos materiais e respetivos revestimentos existentes, bem como os meios de segurança previstos para o edifício em estudo. No que se refere às características humanas (fator humano), estas variam de pessoa para pessoa. Os mais relevantes são a idade, peso, tempo de percepção ao alarme, presença ou não de fumo, uso ou não de elevadores, existência ou não de equipa de emergência, entre outros. Por fim, as características do edifício também são fundamentais para uma correta evacuação, devido à definição de saídas de emergência adequadamente distribuídas e respetivas larguras. Em edifícios de grande altura esta análise torna-se ainda mais fundamental, devido ao número de ocupantes previsto, bem como às distâncias a percorrer até ao percurso final de evacuação. De acordo com estes autores, o uso de elevadores neste tipo de

edifícios torna-se num fator primordial para a evacuação de indivíduos possuidores de limitações físicas ou outras. Estudos realizados relativamente ao incidente do WTC 9/11 demonstraram que cerca de 3000 pessoas foram devidamente evacuadas na Torre Sul através da utilização de elevadores. De acordo com estes autores, verifica-se que o ponto de partida para as medidas de prevenção de incêndio passa pela interação entre o comportamento humano e as características de um determinado edifício. Existem ainda atualmente muitas condicionantes à correta análise do comportamento humano em caso de incêndio, pelo que surge a necessidade de se efetuar mais estudos relativamente a esta matéria.

([Thompson et al., 2015](#)) por sua vez centram a sua análise nas características físicas da população individual, de acordo com o aumento crescente da proporção de pessoas idosas e obesas apresentado pelos estudos da OCDE. Dado que estes fatores têm influência no fluxo de evacuação, uma análise baseada no desempenho através da utilização de simuladores de evacuação que permitem ter em consideração estes fatores, permitirá uma definição dos meios de evacuação mais adequados aos ocupantes a evacuar. Existem outros fatores que têm influência nesta temática e que o autor refere, diferentes características biomecânicas da marcha, presença de fumo, fadiga, entre outros, conforme anteriormente referido através da análise do artigo ([Kobes et al., 2010](#)), pelo que os autores ([Thompson et al., 2015](#)) referem a necessidade da continuação de uma investigação mais aprofundada relativamente a esta temática.

([Jeongin Koo et al., 2013](#)) incluem outro fator de análise que pode efetivamente condicionar uma evacuação eficaz, que passa pela necessidade de uma análise mais específica a pessoas com deficiências motoras e a sua possibilidade de evacuar através do uso de elevadores. Esta situação tem mais relevância quando se trata de edifícios de grande altura, onde esta evacuação pode tornar-se mais complexa principalmente para indivíduos com estas características. Um caso de estudo é apresentado por estes autores.

([Ding et al., 2015](#)) consideram que a utilização das vias de evacuação verticais por

parte de crianças e idosos num processo de evacuação, provoca congestionamento aumentando consideravelmente o tempo total de evacuação. Um caso de estudo é apresentado por estes autores.

([Sagun et al., 2011](#)) consideram que a dinâmica de grupo durante as emergências é um processo complexo, pois pode variar dependendo do tipo de evento de emergência, características do edifício e características do próprio grupo, tais como o tamanho do grupo, sua familiaridade com o edifício e variedades em género, habilidades e idade. Este refere ainda que as informações encontradas nos códigos e padrões de construção atuais são do tipo estático e negligenciam as condições e comportamentos da vida real durante o processo de evacuação. O fator de decisão relativamente a qual das saídas de emergência a utilizar pode influenciar a evacuação.

([Yuan et al., 2009](#)) inserem outro elemento de análise às condicionantes que se devem ter em consideração quando se faz o estudo da evacuação de um determinado edifício. Embora a velocidade de movimento de cada pessoa a evacuar seja afetada pelo nível de perigosidade existente, características do edifício e características do próprio ser humano, estes Autores defendem que a evacuação depende principalmente da densidade do efetivo a evacuar.

3.3 Análise aos diversos tipos de simuladores de evacuação

Existem diversos simuladores de evacuação, que são escolhidos de acordo com o problema que se pretende resolver.

([Vermuyten et al., 2016](#)) apresentam um artigo de revisão onde fazem a comparação entre os diversos simuladores existentes, tais como: *Continuum models*; *Network-based models*; *Cellular automata models*; *Agent-based models*; *Social-force models*; *Game-theoretic models*. Estes autores concluem que a inadequada calibração e implementação dos modelos propostos pode influenciar desfavoravelmente a obtenção de um resultado fiável ao estudo que nos propomos realizar. Estes autores verificaram ainda que a maioria dos artigos de pesquisa, possuem dados teóricos para testar seus modelos, constatando

que atualmente ainda se verifica uma falta de implementação destes modelos em problemas práticos.

([Thompson et al., 2015](#)) constataam que a maioria dos algoritmos de movimento atuais baseiam-se em avaliações desadequadas à realidade atual, cujos dados de fluxo versus densidade definidos para a população individual, foram considerados com base em pesquisas efetuadas nas décadas de 1960 e 1970, podendo esta situação tornar-se um risco de viés às simulações já concretizadas. Este artigo compara ainda simuladores atualmente existentes e conclui que os modelos contínuos, onde se insere o software *Pedgo*, *Legion*, *Simulex*, *PathFinder*, *MassMotion* e *FDS+Evac*, permitem definir a densidade e velocidade de população individual, tornando-se assim mais próximos da realidade atual.

([Ding et al., 2015](#)) fazem referência no seu artigo à utilização do simulador de evacuação *Pathfinder*, considerando que este fornece as ferramentas necessárias para tomar decisões corretas tendo em consideração as características do edifício em estudo.

([Sagun et al., 2011](#)) utilizam o simulador *Building Exodus* no seu estudo de caso. Estes Autores referem que este é uma ferramenta que possibilita a simulação e interação entre pessoas-pessoas, pessoas-fogo e pessoas-estrutura. As vantagens apresentadas fazem referência à existência de um interface amigável e possibilidade de importar arquivos '.dxf'. Permite ainda ao usuário criar vários cenários fazendo mudanças nas propriedades das pessoas (sexo, idade, deficiência, etc.), alteração da velocidade de movimento durante o fluxo horizontal e vertical e as propriedades das saídas de emergência, fechado, principal, alternativo, etc.).

([Yuan et al., 2009](#)) fazem referência aos dois tipos de simuladores mais utilizados na matéria de evacuação, simuladores de rede fina e simuladores de rede grosseira. O seu estudo tem como objetivo demonstrar os inconvenientes da utilização de cada um destes simuladores de forma isolada e propõe a utilização de simulador que integre estas duas abordagens. Estes autores referem ainda que o modelo de rede fina requer uma grande capacidade computacional, enquanto o modelo

de rede grosseira pode não ser adequado para representar detalhes do processo de evacuação. Dois casos de estudo são apresentados por estes Autores. Estes foram desenvolvidos considerados através da utilização do simulador integrado *SGEM*, desenvolvido por *Fire and Hazard Research Group*, da *City University de Hong Kong*.

([Wu & Huang, 2015](#)) apresentam um caso de estudo que aborda um simulador que combina os dois tipos de simuladores mais convencionais, o de teorias macroscópicas e microscópicas, através da utilização do modelo de controle de volume. Estes autores fazem uma comparação entre este tipo de simulador e o modelo da *NFPA*.

3.4 Casos de Estudo

([Jeongin Koo et al., 2013](#)) apresentam um estudo de caso considerando um edifício de escritórios de 24 andares localizado nos Estados Unidos. O simulador utilizado foi o *EVAC*. Este estudo teve três vertentes de análise, a primeira centrou-se no conceito de máxima capacidade estrutural confortável de um edifício para uma população heterogênea que incluiu pessoas com e sem deficiência. A segunda, explorou estratégias de evacuação faseadas em comparação com estratégias de evacuação simultâneas mais convencionais. A última análise foi o estudo da possibilidade de usar elevadores para evacuar pessoas com incapacidades motoras e respetiva análise do seu impacto na evacuação das restantes pessoas que não possuem esta limitação. Foram considerados dois critérios numéricos, taxa de fluxo por minuto e relação de frequência de movimento, de forma a determinar o grau de congestionamento que afeta a evacuação, tendo-se determinado que a capacidade máxima de evacuação daquele edifício é de 3408 ocupantes. Este estudo permitiu ainda constatar que o uso de elevadores, para efeitos de evacuação, para pessoas que usam cadeiras de rodas, permite diminuir significativamente o tempo de evacuação global em 21,5%. Os autores ressaltam ainda que esta situação deve ser explorada tendo em atenção que os elevadores a utilizar devem estar de acordo com todas as normas de segurança adequadas para a sua utilização em caso de incêndio. Deve ser ainda

estudada a possibilidade de uma programação adequada deste tipo de equipamentos, que permita privilegiar os pisos mais elevados relativamente aos restantes, bem como não efetuarem mais nenhuma paragem com a exceção do piso de referência, nos casos em que estes tenham a sua lotação concretizada.

Outro caso de estudo é-nos apresentado pelos autores [\(Ding et al., 2015\)](#). Estes apresentam um estudo de evacuação de um edifício de grande altura, com 28 andares, através da utilização do simulador *Pathfinder*. O estudo centrou-se na possibilidade de utilização dos elevadores em caso de incêndio, conforme anteriormente também abordado pelos autores [\(Jeongin Koo et al., 2013\)](#). No entanto neste artigo o uso dos elevadores em caso de incêndio é permitido a todas as pessoas em geral, dando mais relevância a idosos e crianças. São consideradas diversas simulações, de forma a permitir tirar algumas conclusões relativamente a esta utilização combinada de escada/elevadores durante o período de evacuação. Os resultados obtidos neste estudo, mostram que a utilização dos elevadores por parte de idosos e crianças, evitam o congestionamento nas escadas, chegando assim à conclusão que este procedimento permite a diminuição do tempo total de evacuação em cerca de 24,3%. Verificou-se ainda que a evacuação com uma ordem de prioridade de pisos inferiores para pisos superiores pode efetivamente diminuir o congestionamento causado pelos idosos e alcançar uma taxa de evacuação mais rápida durante a maior parte do processo de evacuação. No entanto, o tempo total de evacuação aumenta, dado que não é possível evacuar algumas pessoas idosas que se poderão encontrar nos últimos andares do edifício. Surge assim a necessidade de efetuar mais estudos de caso relativamente a esta temática.

[\(Sagun et al., 2011\)](#) introduzem um caso de estudo que tem como objetivo analisar a preferência dos ocupantes relativamente às saídas de emergência existentes, em situação de emergência. Foram apresentados dois tipos de estudos de caso. O primeiro baseado em observações das evacuações da vida real e o segundo em simulações computacionais. Os edifícios de estudo de caso foram modelados e

considerados vários cenários de evacuação através da utilização do simulador *Building EXODUS*. Os edifícios de estudo são destinados a escritórios. A população em cada edifício variou entre 80-120 pessoas, de acordo com a escala do edifício, sendo 50% do sexo masculino e 50% do sexo feminino. A população não incluiu pessoas com nenhum tipo de deficiência. Foi considerado outra simulação através da inclusão de um edifício com mais de 42 níveis. O tempo de resposta após o alarme de emergência foi considerado entre 30-90s, velocidade 1,2 m/s e velocidade de descida em escada foi identificada como 0,8 m/s. Foram considerados três cenários onde o processo de evacuação foi observado: 1 - a porta principal estava fechada, mas todas as outras saídas alternativas estavam abertas 2 - todas as portas estavam abertas e há um uso igualmente equilibrado das saídas, 3- Todas as portas alternativas foram fechadas e apenas a porta principal estava aberta. Os resultados indicaram que a diferença nos tempos de evacuação dos cenários 1 e 2 é muito baixa e pode ser desprezada, no entanto a diferença nos tempos de evacuação entre os cenários 2 e 3 é bastante elevada, mostrando um aumento médio de 20% no tempo de evacuação. Relativamente ao edifício de grande altura esta diferença nos tempos de evacuação é acentuada, havendo um aumento de cerca de 25% do cenário 2 relativamente ao cenário 1 e de 36% do cenário 3 relativamente ao cenário 1. Os autores defendem que devem ser considerados no futuro mais estudos de caso, dado que as abordagens prescritivas que usam o uso equilibrado da saída tendem a ficar descontinuadas, havendo a necessidade de projetos baseados num desempenho em relação ao tempo de saída, garantindo assim uma definição mais correta dos caminhos de fuga de acordo com o edifício e ocupantes a evacuar.

[\(Yuan et al., 2009\)](#) ilustram dois casos de estudos referenciados no seu artigo. O primeiro refere-se a um edifício de escritórios e o segundo a um centro comercial. É sobre o primeiro estudo que vamos focar a nossa análise. Esta simulação foi realizada para um edifício de 15 andares e efetivo de 480 pessoas no total. O tempo de reação foi definido para zero, e o elevador não foi considerado utilizável para realizar a evacuação. Os

resultados obtidos permitem verificar que o tempo de evacuação determinado através de simulador de rede fina (*FNA*) é 3 a 15% menor do que o simulador de rede integrada (*INA*). Não se tendo verificado grande diferença entre o simulador de rede grosseira (*CNA*) e *INA*. O tempo de evacuação total foi de 899, 894 e 875s para *CNA*, *INA* e *FNA*(*), respetivamente. Este caso de estudo permitiu concluir ainda que, as diferenças no tempo de evacuação entre as três diferentes abordagens de modelagem (*FNA*, *INA* e *CNA*) são pequenas e dentro de um intervalo aceitável. Mais estudos referentes a esta temática deverão ser desenvolvidos.

([Wu & Huang, 2015](#)) apresentam um caso de estudo de um prédio de escritórios de 9 andares, com um efetivo de 300 pessoas por piso. O tempo de resposta ao alarme é desprezado. Foi definido que os ocupantes dos andares inferiores só começam a evacuar quando o efetivo existente nos andares superiores completarem a evacuação. Neste estudo, o modelo utilizado incluiu dois métodos diferentes para simular o movimento das pessoas e prever o tempo de evacuação para edifícios de grande altura. O primeiro é um modelo baseado na norma *NFPA* e nas três características fundamentais do movimento: efetivo, velocidade e fluxo. A segunda metodologia utilizada baseou-se no conceito de controle de volume para fluxos contínuos de pessoas através das saídas de emergência preconizadas. Os resultados numéricos deste modelo mostraram estar em concordância com o cálculo da *NFPA* e simulador *SIMULEX*, tendo por base os mesmos pressupostos de simulação.

3.5 Avaliação da Qualidade dos Artigos selecionados

A maioria dos artigos selecionados, foram citados noutras publicações, o que sugere a sua importância no estudo da evacuação em edifícios considerados de grande altura. ([Wu & Huang, 2015](#)), ([Jeongin Koo et al., 2013](#)), ([Yuan et al., 2009](#)), foram citados 3, 19 e 39 vezes respetivamente. Alguns Autores referem a utilização de inquéritos nos estudos desenvolvidos, os quais não nos permitem verificar se os mesmos foram devidamente validados e se se adequam aos estudos por estes desenvolvidos e apresentados. Verificou-

se ainda que a maioria dos estudos de caso não incluem na sua totalidade todos os constrangimentos que se verificam ao nível da evacuação, o que torna quase impraticável efetuar comparações entre estudos de caso similares.

4. CONCLUSÕES E PESQUISA FUTURA

De acordo com a pesquisa de revisão sistemática efetuada, verifica-se que existem diversos fatores que podem influenciar a evacuação em caso de incêndio num determinado edifício. Esta situação torna-se mais evidente quando a análise é direcionada para edifícios considerados de maiores dimensões em planta e de grande altura. Nesse sentido a abordagem tradicional com uma vertente mais prescritiva que vai de encontro com a maioria das indicações definidas na legislação em vigor, torna-se insuficiente podendo muitas vezes não caracterizar de forma adequada as vias de evacuação necessárias para uma correta evacuação do efetivo previsto. Nesse sentido, o recurso a simuladores informáticos torna-se cada vez mais fundamental de forma a ser possível, em fase de projeto, fazer uma análise adequada baseada no desempenho. Para este efeito existem diversos simuladores que deverão ser analisados caso a caso, de forma a que estes permitam obter resultados concretos ao estudo de caso que nos propomos desenvolver. Como pesquisa futura, seria desejável o desenvolvimento de simuladores que permitissem uma conjunção de todos os fatores que interferem na evacuação, de forma a que os seus resultados sejam o mais aproximados possível com a realidade, permitindo assim uma correta definição dos percursos de fuga adaptados a cada edifício em estudo. Outra possível análise de estudo será a alteração da Legislação de SCIE Portuguesa, que atualmente não permite a utilização de elevadores em caso de incêndio. A maioria dos estudos desenvolvidos relativos a esta temática, apresentam melhorias consideráveis em tempos de evacuação nestas condições. Mais estudos de caso reais deverão ser desenvolvidos, dado que a maioria dos estudos existentes, retratam situações não reais em empreendimentos fictícios, o que poderá não permitir uma análise adequada a casos considerados similares.

5. ANEXOS

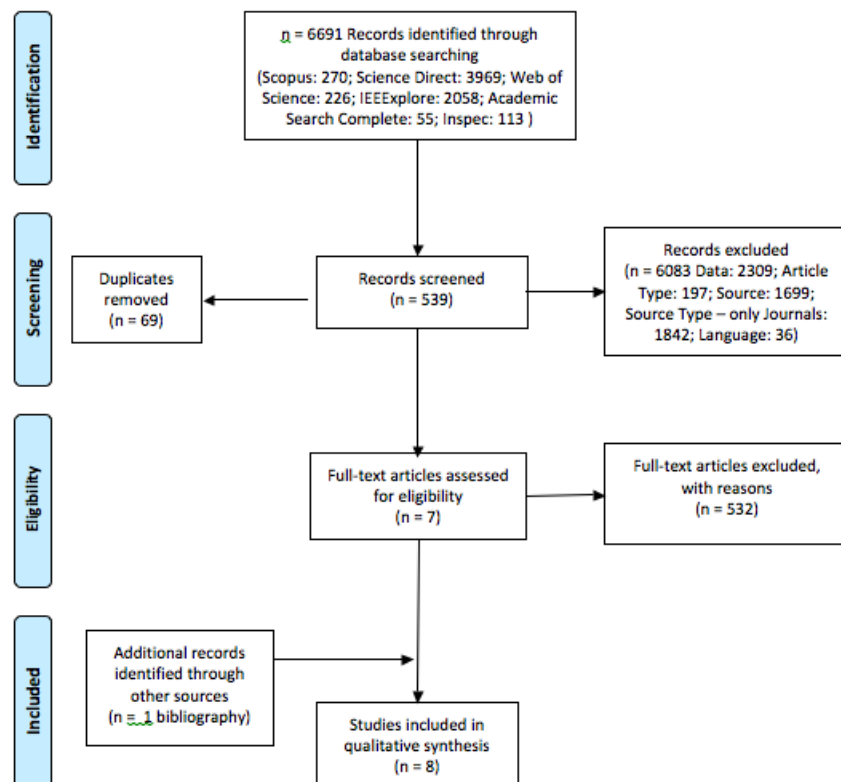
Anexo A

Tabela 1 – Estratégia de Pesquisa.

Bases de Dados	Critérios de Pesquisa				
	Língua: Inglês	Data de Publicação: 2006 a 2017	Tipo de documento: Review; Article; Article in Press	Tipo de Fonte: Journals (todos)	Título da Fonte (limitadas a): <i>Palavra Chave 1</i> – Fire Safety Journal, Safety Science, Simulation Modelling Practice and Theory, Reability Engineering & System Safety, Advances in Engineering, Procedia – Social and Behavioral; <i>Palavra Chave 2</i> – Safety Science, Fire Safety Journal, Simulation Modelling Practice and Theory <i>Palavra Chave 3</i> – Safety Science
Academic Search Complete	x	x	x	x	
IEEEExplore	x	x	x	x	
Inspec	x	x	x	x	
Science Direct*	x	x	x		x
Scopus	x	x	x	x	
Web of Science	x	x	x	x	

* A pesquisa nesta base de dados foi considerada mais limitada na escolha de artigos relativamente às restantes bases de dados, dado que a quantidade de artigos devolvidos pela pesquisa efetuada foi considerada muito elevada.

Anexo B

**Fig. 1** – Diagrama de processo de pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- APSEI. (n.d.). <https://www.apsei.org.pt/recursos/estatisticas/>.
- Association, T. G. (2014). Fire and Climate Risk, (29), 12–15.
- BBC. (2017). London fire: What happened at Grenfell Tower? *Bbc*. Retrieved from <http://www.bbc.com/news/uk-england-london-40272168>
- Dec-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro - Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE). (2008). *Diário Da República / Official Journal of the Portuguese Republic*, 10–12.
- Decreto-Lei n.º 224/2015 de 9 de outubro, procede à primeira alteração ao Decreto -Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro, que aprova o regime jurídico da segurança contra incêndio em edifícios. (2015). *Diário Da República / Official Journal of the Portuguese Republic*, 1(198), 8740–8774. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Ding, Y., Yang, L., Weng, F., Fu, Z., & Rao, P. (2015). Investigation of combined stairs elevators evacuation strategies for high rise buildings based on simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2015.01.004>
- Incêndio do Chiado – Wikipédia, a enciclopédia livre. (n.d.). Retrieved from https://pt.wikipedia.org/wiki/Incêndio_do_Chiado
- Jeongin Koo, Yong Seog Kim, Byung-In Kim, & Christensen, K. M. (2013). A comparative study of evacuation strategies for people with disabilities in high-rise building evacuation. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 408–417.
- Kobes, M., Helsloot, I., de Vries, B., & Post, J. G. (2010). Building safety and human behaviour in fire: A literature review. *Fire Safety Journal*, 45(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.08.005>
- Portaria n.º 1532/2008 de 29 de dezembro - Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE). (2009), 9050–9127.
- Proulx, Guylène; L. Bryan, John; F. Fahy, Rita; K.Lathrop, James; J. Fruin, Jonh; Cohn, Bert; J. O'Connor, D. (n.d.). NFPA Handbook Section 4_20th_2008.
- RGEU. (n.d.).
- Ronchi, E. (Lund U., & Nilsson, D. (Lund U. (2013). Assessment of Total Evacuation Systems for Tall Buildings, (January), 45.
- Sagun, A., Bouchlaghem, D., & Anumba, C. J. (2011). Computer simulations vs. building guidance to enhance evacuation performance of buildings during emergency events. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(3), 1007–1019. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.simpa.2010.12.001>
- Thompson, P., Nilsson, D., Boyce, K., & McGrath, D. (2015). Evacuation models are running out of time . *Fire Safety Journal* , 78, 251–261. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.09.004>
- Vermuyten, H., Beliën, J., Boeck, L. De, Reniers, G., & Wauters, T. (2016). A review of optimisation models for pedestrian evacuation and design problems . *Safety Science* , 87, 167–178. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.001>
- Wu, G.-Y., & Huang, H.-C. (2015). Modeling the emergency evacuation of the high rise building based on the control volume model. *Safety Science*, 73. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.11.012>
- Yuan, J. P., Fang, Z., Wang, Y. C., Lo, S. M., & Wang, P. (2009). Integrated network approach of evacuation simulation for large complex buildings. *Fire Safety Journal*, 44(2), 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.07.004>

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme referido anteriormente, para o desenvolvimento do presente estudo utilizou-se o simulador *Pathfinder*. Este é um simulador de movimento de ocupantes, baseado no modelo *continuous network* e comercializado pela *Thunderhead Engineering*. Com a utilização desta ferramenta computacional foi possível determinar o tempo estimado de evacuação para o caso de estudo, permitindo ainda efetuar análises específicas de acordo com os resultados das diversas simulações realizadas.

Optou-se ainda pela realização de um cálculo numérico com recurso ao [capítulo 2 da secção 4 do Handbook da NFPA 2008 “Calculation Methods for Egress Prediction - Chapter 2”](#), tendo-se efetuado com base nos resultados obtidos, uma comparação entre os mesmos.

A descrição pormenorizada deste estudo encontra-se descrita no artigo incluído no capítulo seguinte designado Resultados.

PARTE 2

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta-se de seguida em formato de artigo.

Matos, Ana
Chichorro, Miguel

ABSTRACT: In high-rise buildings, the study of evacuation becomes one of the primary analysis factors in Fire Security. In this Article was verified there are several factors that can influence evacuation, such as the characteristics of the person (age, weight, behaviour, disabilities), use of elevators, smoke presence, time to alarm and adequate indication of escape routes. It is intended analyse the evacuation characteristics and its efficiency, of a specific high-rise building, using the evacuation model *Pathfinder*. Numerical calculation using *Handbook NFPA 2008 "Calculation Methods for Egress Prediction - Chapter 2"* was also considered. Comparisons between the different results obtained with evacuation model *Pathfinder*, numerical calculation using *Handbook NFPA 2008*, and fire practice, were performed. This analyse will allow verify the potential criticisms of improvement or confirmation of positive aspects of the evacuation model in use. The detailed analysis will allow equally, verify if the evacuation routes and respective widths existents, are adequate to the evacuation of the people that access them, in safety conditions considered favourable. The correlation of the evacuation model with the prescriptive analysis of the Portuguese regulation, will also allow us to obtain the conclusions about the qualitative evaluation of the numerical model and even the safety code. The study of the possibility to use the elevators during the evacuation, to people with particular needs will be considerate in the study case. Others studies factors will be open for other similar studies.

KEYWORDS: FIRE, HIGH-RISE BUILDING, CROWD SIMULATION SOFTWARE, EGRESS DESIGN

PRESENTATION PREFERENCE: ORAL

1. INTRODUÇÃO

1.1. Relevância da temática da Segurança contra Incêndios em Edifícios (SCIE)

A área de segurança contra incêndios em edifícios é cada vez mais um fator de elevada relevância nos dias de hoje, tendo como principal objetivo a salvaguarda da vida humana não descurando sempre que se torne possível, a proteção do próprio edifício, o seu conteúdo e o meio ambiente.

Ao longo do tempo esta temática foi tendo cada vez mais importância, tendo tido o seu maior impulso no grande incêndio ocorrido no Chiado em Lisboa. Este deflagrou a 25 de agosto de 1988 nos Armazéns Grandella, tendo-se registado duas vítimas mortais e diversas perdas materiais de referência (["Incêndio do Chiado – Wikipédia, a enciclopédia livre," n.d.](#)).

Atualmente, e conforme ilustram as ocorrências registadas no sítio da ANPC, em Portugal verificou-se um total de 10.045 incêndios urbanos registados no ano 2010

em edifícios de diversas utilizações-tipo ([APSEL, n.d.](#)). No que se refere ao número de vítimas mortais, a nível mundial, Portugal encontra-se na posição 8ª com um rácio de 0,57 mortes por 100.000 habitantes entre o ano 2008 a 2010 ([Association, 2014](#)).

Um dos fatores que contribuiu para estabelecer a importância desta temática no nosso quotidiano, foi a publicação do (["Dec-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro - Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndio em Edifícios \(RJ-SCIE\)," 2008](#)) e consequentemente a (["Portaria n.º 1532/2008 de 29 de dezembro - Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios \(RT-SCIE\)," 2008](#)), onde foi possível sistematizar e englobar quase todas as especificações de SCIE regulamentares a atribuir a um qualquer edifício ou recinto, num mesmo documento, permitindo assim uma maior facilidade na definição de todos os sistemas de segurança necessários para cada uma das doze possíveis utilizações-tipo e recintos, invertendo assim o até àquela data verificado, onde persistiam diversas

regulamentações técnicas dispersas por vários documentos legislativos de acordo com o tipo de estabelecimento a caracterizar.

Com a aplicação da legislação anteriormente referida, verificou-se a existência de uma lacuna no que se refere à sua aplicabilidade em edifícios existentes. Essencialmente devido a este fator, surge a publicação do [“Decreto-Lei n.º 224/2015 de 9 de outubro, procede à primeira alteração ao RJ-SCIE, que aprova o regime jurídico da segurança contra incêndio em edifícios,”](#) (2015). No seu Artigo n.º14A, indica que neste tipo de casos, é possível efetuar esta análise através do recurso a métodos de análise de risco, métodos de ensaio ou modelos de cálculo baseados em novas tecnologias aprovadas pela ANPC. Este tipo de análise considerada como análise baseada no desempenho, torna-se assim fulcral para o estudo de edifícios existentes, permitindo comprovar em muitas situações que apesar das características arquitectónicas verificadas não permitirem o cumprimento integral da legislação atual, esta situação não põe em risco as necessárias condições de evacuação dos seus ocupantes.

Sendo o objetivo principal a proteção e salvaguarda da vida humana, conforme anteriormente referido, torna-se fundamental para cada edifício, caracterizar adequadamente a localização das suas saídas de emergência e das respetivas vias de evacuação que lhe dão acesso, de forma a permitir uma adequada velocidade de evacuação e consequentemente a segurança dos seus ocupantes. Nesse sentido, esta análise verifica-se de maior importância em edifícios considerados de grande e/ou muito grande altura, onde a distância a percorrer até ao exterior do edifício é consideravelmente superior, aumentando assim os tempos de evacuação que poderão não permitir a evacuação de uma forma segura, conforme se constatou recentemente no incêndio ocorrido na Grenfell Tower em Londres, edifício residencial com 23 andares. De acordo com a [\(BBC, 2017\)](#), estavam presentes no edifício à hora do incêndio cerca de 350 pessoas, das quais 80 vieram a falecer na sequência de um incêndio deflagrado no 4º piso, onde o edifício veio a ceder ao incêndio de uma forma rápida, devido a uma má definição dos revestimentos de fachada previstos na

remodelação a que este tinha sido sujeito, tendo-se ainda verificado a existência de apenas uma única via de evacuação.

1.2 - Objetivo

Pretende-se com este artigo e através do estudo de um edifício de importância elevada, o edifício da Torre das Antas localizado no Porto, contribuir para o conhecimento das implicações das análises de desempenho e prescritiva no resultado do projeto no que se refere ao estudo da evacuação.

2. METODOLOGIA

2.1 – *Simuladores computacionais para estudos de evacuação (Computer Simulation and Modeling of Egress Design)*

Uma forma de verificar se as vias de evacuação existentes num determinado edifício, são ou não considerados suficientes para evacuar em tempo útil o efetivo previsto, é através do recurso a modelos computacionais que permitem de uma forma mais ou menos simplificada a obtenção deste objetivo.

De acordo com o tipo de edifício e as suas características, bem como a especificidade dos resultados de cálculo que se pretendem obter, seleciona-se o simulador que se considera o mais adequado com base nestes pressupostos, sendo os mais vulgarmente conhecidos e utilizados atualmente, o *Pedgo*, *Legion*, *Simulex*, *Pathfinder*, *MassMotion*, *FDS+Evac*, *Building Exodus*, entre outros. Cada um destes simuladores apresenta características diferentes, de acordo com o caso que se pretende estudar e as suas variantes de simulação.

2.2 - *Escolha do simulador para o caso de estudo*

Para o caso de estudo, o simulador selecionado foi o *Pathfinder 2015*.

O programa *Pathfinder* é um simulador de movimento de ocupantes, baseado no modelo *continuous network* e comercializado pela *Thunderhead Engineering*. Este simulador utiliza dois métodos de simulação de movimento de pessoas [\(Ronchi & Nilsson, 2013\)](#), o

hydraulic model, SFPE, desenvolvido por Gwynne & Rosenbaum [2008], baseado no cálculo da capacidade dos meios existentes e o método *agente-based model* i.e. the Reynolds [1999], baseado no estudo do comportamento dos ocupantes.

Os motivos que levaram à escolha deste simulador para o caso de estudo, foram vários, entre eles o facto de possibilitarem a sua utilização de forma gratuita para fins académicos. Para além deste factor, este simulador apresenta ainda um conjunto de características que o tornam atrativo relativamente aos restantes, dos quais se destaca a existência de um simplificado interface com o utilizador, a possibilidade da importação de ficheiros em formato *dwg* com visualização em 2D e 3D, bem como a exportação de um conjunto determinado de dados para diferentes cenários de estudo. Outra das vantagens da utilização deste simulador, é possibilitar a interação com o software *Pyrosim* também comercializado pela *Thunderhead Engineering*. Trata-se de um simulador dinâmico usado para prever com precisão cenários de incêndio, bem como a análise das concentrações de movimento, temperatura, libertação de gases do fogo e do fumo, bem como a sua influência na evacuação dos ocupantes.

3. CASO DE ESTUDO

3.1 – Descrição do Edifício de estudo

A Torre das Antas, [Figura 1](#), edifício em estudo, apresenta um total de 17 pisos acima do plano de referência e 4 pisos abaixo do mesmo.



Fig. 1 – Torre das Antas.

Apresenta-se na [Tabela 1](#) a utilização de cada um dos pisos, bem como o seu efetivo parcial e total:

Tabela 1 – Torre das Antas, caracterização.

Piso	Utilização	N.º Vias Verticais Evac.	Efetivo
Piso 17	Zonas Técnicas	2	0
Piso 16	Escritórios	2	62
Piso 15			141
Piso 14			129
Piso 13			104
Piso 12			102
Piso 11			90
Piso 10			104
Piso 9			94
Piso 8			162
Piso 7			96
Piso 6			104
Piso 5			107
Piso 4	Escritórios	2	78
Piso 3		3	248
Piso 2			287
Piso 1	Loja do Cidadão	4	743
Piso 0	Acesso Loja do Cidadão e Torre de Escritórios	4	2
Piso -1	Parque de Estacionamento	2 e rampas de acesso	3
Piso -2			1
Piso -3			0
Piso -4			0
	Total		2657

Os pisos situados abaixo do plano de referência, apresentam uma altura de 2,8m e acima do mesmo 3,85m, o que implica que o Edifício seja considerado de muito grande altura ($h > 50m$). Os parques de estacionamento totalizam uma área de 25.747,55m². No que se refere às vias de evacuação, a largura das vias verticais rondam os 1,35m (aproximadamente 2U.P.) e a larguras das vias horizontais é variável, tendo no entanto em média cerca de 3,5m (5U.P.). O Edifício apresenta ainda 4 elevadores com uma lotação de 10 pessoas, capacidade de carga útil de 800Kg e 1 monta cargas com lotação 12 pessoas e capacidade de carga útil de 1000Kg.

Face ao exposto e de acordo com os critérios definidos no RJ-SCIE, o Edifício caracteriza-se como de 4ª categoria de risco para a U.T.III, Administrativos e 3ª categoria de risco para a U.T.II, Estacionamentos.

3.2 – Análise prescritiva de acordo com o RT-SCIE

Após análise de SCIE ao edifício com base na legislação em vigor, verificaram-se as seguintes não conformidades que se sintetizam na [Tabela 2](#):

Tabela 2 – Torre das Antas, não conformidades (análise prescritiva).

N.º	Artigo	Comentários
1	Alínea a) e b) do ponto 1 do Artigo n.º25 do RT-SCIE	As vias horizontais não possuem nenhuma proteção corta-fogo, relativamente aos espaços adjacentes.
2	Alínea b) do ponto 4 do Artigo n.º 56 do RT-SCIE	Largura mínima das saídas e das vias de evacuação inferior ao necessário.
3	Ponto 3 do Artigo n.º 56 do RT-SCIE	Largura útil das saídas de evacuação inferior ao necessário.
4	Alínea a) do ponto 2 do Artigo n.º57 do RT-SCIE	Distância máxima a percorrer em impasse > 15m.
5	Ponto 11 do Artigo n.º64 do RT-SCIE	Largura mínima das vias verticais de evacuação não é cumprida.
6	Alínea a) do ponto 1 do Artigo n.º68 do RT-SCIE	Localização e quantidade de zonas de refúgio (não existem).
7	Alínea a), b) e c) do ponto 1 do Artigo n.º135 do RT-SCIE	Relativo à não existência de sistema de controlo de fumos nas vias horizontais de evacuação, bem como nas câmaras corta-fogo (pisos abaixo do plano de referencia).
8	Ponto 4 do Artigo n.º26 do RT-SCIE	Relativo à não existência de câmaras corta-fogo de acesso às vias verticais de evacuação (edifícios de grande altura).

Sendo o maior efetivo entre dois pisos consecutivos, no presente caso entre o Piso 2 e o Piso 1, igual a 1030 pessoas, e distribuindo de forma equilibrada este

efetivo pelas quatro vias verticais de evacuação existentes, a partir deste piso, verifica-se que a largura das mesmas deveria ser de cerca de 4U.P., devendo as suas portas de acesso possuir igualmente esta dimensão, o qual não se verifica. A nível de situações de impasse, em algumas zonas verificou-se uma distância de impasse de cerca de 20m.

3.3 – Resultado do Simulacro de Incêndio

No dia 5 de junho de 2015 às 15h e no âmbito do definido nas Medidas de Autoproteção, foi realizado um exercício de simulacro ao edifício de escritórios da torre das antas (exceção à loja do cidadão), com a colaboração do Batalhão Sapadores de Bombeiros (BSB) e Polícia de Segurança Pública (PSP) do Porto. Verificou-se que o edifício foi considerado como evacuado ao fim de 14 min., tendo sido extinto o incêndio 21min. após o início do mesmo. Não foi registado no exercício de simulacro oficial do BSB, o número de ocupantes do Edifício de Escritórios que foi evacuado.

3.4 – Aplicação do Software Pathfinder ao caso de estudo

O estudo da evacuação do edifício Torre das Antas, foi concretizado com o recurso à utilização do simulador *Pathfinder 2015*, conforme anteriormente referido. A aplicação deste simulador iniciou-se com a importação das plantas do edifício em formato *dwg*, tendo sido estas colocadas em cotas altimétricas entre os seus diversos pisos consecutivos. Com a ferramenta de criação de polígonos, foram definidas todas as áreas de compartimentação existentes, por piso, bem como a localização das escadas, elevadores, rampas e saídas de emergência conforme se encontra representado na [Figura 2](#).

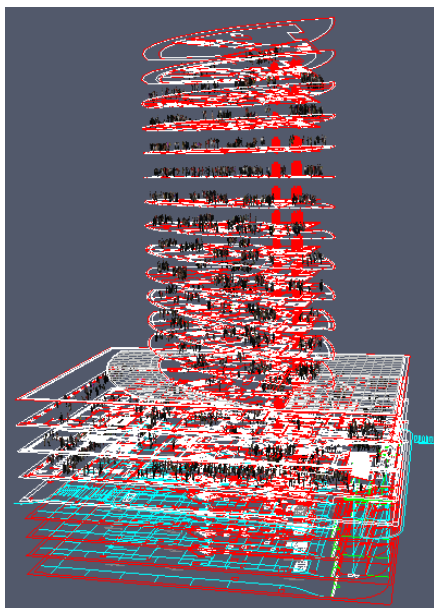


Fig. 2 – Torre das Antas (Pathfinder 2015).

Após a inserção do modelo arquitectónico do edifício, introduziram-se os ocupantes, com base no definido nas Medidas de Autoproteção aprovadas pela ANPC, para cada um dos locais, bem como as suas características específicas, nomeadamente velocidade máxima, tipo de avatar e respetivo comportamento de fuga em caso de incêndio.

Nas simulações foram mantidos os valores standard de velocidade média máxima para os ocupantes de 1,19m/s em vias horizontais e 1,0m/s em evacuação através das vias verticais, atribuídas pelo simulador. Definiram-se igualmente os comportamentos “*behavior*” dos ocupantes em caso de incêndio, conforme indicado na [Tabela 3](#).

Tabela 3 – Pathfinder2015, comportamentos (behavior) definidos nas simulações.

<i>Behavior</i>	Descrição
1	Evacuação para qualquer uma das saídas de emergência existentes no Edifício.
2	Evacuação para qualquer uma das saídas de emergência existentes no Edifício, incluindo zonas de refúgio (possibilidade de implementação, Piso 4 e Piso 16).
3	Evacuação para qualquer uma das saídas de emergência existentes no Edifício, dando possibilidade de utilização dos elevadores existentes para os pisos mais elevados (possibilidade de implementação).
4	Evacuação faseada, para a situação de inclusão de zonas de refúgio. O efetivo dos pisos superiores evacua pela zona de refúgio superior, os pisos intermédios evacua pela zona de refúgio intermédia e por fim os restantes pisos evacua diretamente através do Piso 0.

3.5 - Cálculo numérico com recurso ao capítulo 2 da secção 4 do Handbook da NFPA 2008 “Calculation Methods for Egress Prediction - Chapter 2”

Verificou-se ainda para o caso de estudo, a aplicabilidade do capítulo 2 da secção 4 da norma Handbook da NFPA 2008 ([Proulx, Guylène; L. Bryan, John; F. Fahy, Rita; K.Lathrop, James; J. Fruin, Jonh; Cohn, Bert; J. O’Connor, n.d.](#)), de forma a analisar mais concretamente as condições de evacuação existentes no edifício.

Nesse sentido, optou-se pela escolha de uma das simulações de estudo prevista para o *Pathfinder 2015*, nomeadamente a evacuação dos Pisos 16 a 4 através da possibilidade da existência de uma zona de refúgio existente no Piso 4, ou seja a simulação 9 indicada na [Tabela 4](#). De seguida far-se-á a descrição e cálculo demonstrativo para um dos pisos a evacuar de acordo com o definido na Handbook da NFPA, neste caso o 16º piso ([Figura 3](#)), sendo que nos restantes foi adoptada a mesma filosofia de cálculo.

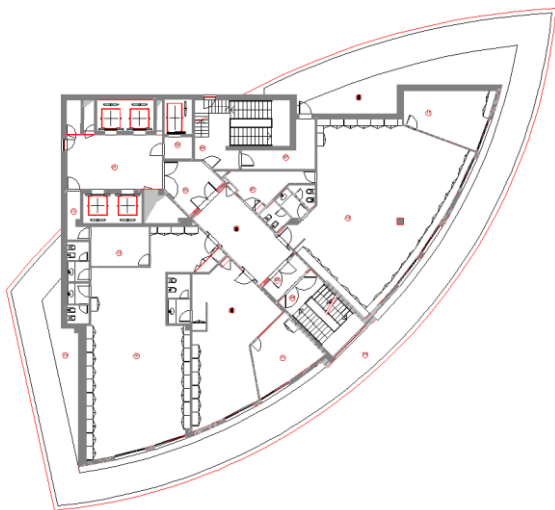


Fig. 3 – Torre das Antas – Piso 16.

Este Piso 16, à semelhança do que acontece em todos os pisos de escritórios até ao Piso 4, apresenta duas saídas de emergência através de duas vias verticais (V.V.) de evacuação com 1,35m de largura, sendo que as portas de acesso às mesmas apresentam as dimensões de 0,9 e 1,8m. A largura das vias horizontais (V.H.) ronda os 3,5m. O efetivo deste piso é de 62 pessoas.

O método iniciou-se assim com a definição da altura do piso (h), das larguras efetivas das vias horizontais (W_{eh}) e verticais de evacuação (W_eV_1 e W_eV_2), bem como das portas de saída de emergência (W_eS_1 e W_eS_2), com recurso à tabela 4.2.4 constante da norma, conforme ilustra a [Figura 4](#).

TABLE 4.2.4 Boundary Layer Widths

Exit Route Element	Boundary Layer	
	in.	cm
Stairways—walls or side of tread	6.0	15
Railings, handrails*	3.5	9
Theater chairs, stadium benches	0.0	0
Corridor, ramp walls	8.0	20
Obstacles	4.0	10
Wide concourses, passageways	Up to 18	46
Door, archways	6.0	15

*Where handrails are present, use the value if it results in a lesser effective width.

Fig. 4 – Tabela 4.2.2 do Capítulo 2 da secção 4 da norma Handbook da NFPA 2008.

Os resultados obtidos foram os seguintes:

$$h = 3,85m$$

$$W_{eh} = 3,5 - 0,2 \times 2 = 3,10m$$

$$W_{ev_1} = W_{ev_2} = 1,35 - 0,15 \times 2 = 1,05m$$

$$W_{eS_1} = 0,9 - 0,15 \times 2 = 0,6m$$

$$W_{eS_2} = 1,8 - 0,15 \times 2 = 1,5m$$

De seguida fez-se o estudo das características das *vias horizontais de evacuação* e o seu impacto na evacuação.

Existindo duas saídas de emergência neste piso, considera-se que o seu efetivo será distribuído por estas mesmas duas saídas, ao mesmo tempo. Nesse sentido determinou-se a densidade (D) através da utilização da [Eq.\(1\)](#), a velocidade (S) através da utilização da [Eq.\(2\)](#), o fluxo específico (F_s) através da utilização da [Eq.\(3\)](#) e o cálculo do fluxo inicial (F_c) através da utilização da [Eq.\(4\)](#).

$$D = \text{Efetivo} / \text{Área V.H.} \quad (1)$$

$$D = (62/2) / ((10 \times 3,5)/2) = 1,77m^2$$

$$S = k - akD \quad (2)$$

O valor de k para as vias horizontais, é determinado de acordo com o apoio da tabela 4.2.5 constante na norma e representado na [Figura 5](#).

TABLE 4.2.5 Constants for Equation 2, Evacuation Speed

Exit Route Element	k_1	k_s
Corridor, Aisle, Ramp, Doorway	275	1.40
Stairs Riser (in.)	Tread (in.)	
7.5	10	196
7.0	11	212
6.5	12	229
6.5	13	242

Note: 1 in. = 25.4 mm.

Fig.5 – Tabela 4.2.5 do Capítulo 2 da secção 4 da norma Handbook da NFPA 2008.

$$k = k_s = 1,40$$

$$a (\text{constante}) = 0,266$$

$$S = (1,4 - 0,266 \times 1,4 \times 1,77) \times 60 = 44,42 \text{ m/min}$$

$$F_s = SD \quad (3)$$

$$F_s = 44,42 \times 1,77 \\ = 78,69 \text{ pessoas/min} \\ /m^2 W_e$$

O valor de F_s , representa o número de pessoas que passam num determinado ponto do percurso de fuga, de acordo com a sua dimensão efetiva (W_e). É definido na norma, conforme representado na [Figura 6](#), um valor máximo de F_{sm} , o qual o valor de F_s determinado não pode ultrapassar.

TABLE 4.2.8 Maximum Specific Flow, F_{sm}

Exit Route Element	Maximum Specific Flow	
	Persons/ min/ft of Effective Width	Persons/ sec/m of Effective Width
Corridor, Aisle, Ramp, Doorway	24.0	1.30
Stairs		
Riser		
Tread		
(in.) (mm) (in.) (mm)		
7.5 (190) 10 (254)	17.1	0.94
7.0 (178) 11 (279)	18.5	1.01
6.5 (165) 12 (305)	20.0	1.09
6.5 (165) 13 (330)	21.2	1.16

Source: Table 3-14.5, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 3rd edition, 2002. Courtesy Society of Fire Protection Engineers.

Fig.6 – Tabela 4.2.8 do Capítulo 2 da secção 4 da norma Handbook da NFPA 2008.

$$F_{sm} = 1,3 \times 60 = 78 \text{ pessoas/min} / m^2 W_e$$

$$F_s > F_{sm}$$

Utiliza-se o valor de F_{sm} para o cálculo de F_c .

$$F_c = F_s W_e \quad (4)$$

$$F_c = 78 \times 3,10 = 241,80 \text{ pessoas/min}$$

O valor de F_c representa o valor previsível para o fluxo de pessoas que se encontram num determinado ponto do percurso de fuga na via horizontal de evacuação.

De seguida fez-se o mesmo estudo para as *portas de acesso às vias verticais* de evacuação, através da determinação dos valores referentes ao fluxo específico (F_s) e cálculo do fluxo inicial (F_c), de forma a verificar o impacto que as suas características apresentam durante a evacuação.

Existe uma porta de saída de emergência de acesso a cada uma das vias verticais de evacuação existentes, designadas como S_1 e S_2 , cujo seu valor efetivo já foi anteriormente determinado (W_{eS_1} e W_{eS_2}).

Através da [Eq.5](#), que se utiliza quando existe a passagem de fluxo de um ponto para outro relativamente a um ponto de transição, determinou-se o valor de F_c para cada uma das saídas de emergência existentes S_1 e S_2 .

$$F_{s(out)} = F_{s(in)} W_{e(in)} / W_{e(out)} \quad (5)$$

Os resultados obtidos de F_s para cada uma das saídas S_1 e S_2 foram os seguintes:

$$F_{s(S_1)} = (78 \times 3,1) / 0,6 \\ = 403,0 \text{ pessoas/min} \\ /m^2 W_e$$

$$F_{s(S_2)} = (78 \times 3,1) / 1,5 \\ = 161,2 \text{ pessoas/min} \\ /m^2 W_e$$

Através da tabela indicada na [Figura 6](#) determina-se o valor de F_{sm} para as portas em estudo.

$$F_{sm} = 1,3 \times 60 = 78 \text{ pessoas/min} / m^2 W_e$$

$$F_s > F_{sm}$$

Utiliza-se o valor de F_{sm} para o cálculo de $F_{c(S_1)}$ e $F_{c(S_2)}$, de acordo com a [Eq.4](#).

$$F_{c(S_1)} = 78 \times 0,6 = 46,80 \text{ pessoas/min}$$

$$F_{c(S_2)} = 78 \times 1,5 = 117,00 \text{ pessoas/min}$$

Por último fez-se o estudo para *vias verticais de evacuação*, através da determinação dos valores referentes ao fluxo específico (F_s) e cálculo do fluxo inicial (F_c), de forma a verificar igualmente o impacto que as suas características apresentam durante a evacuação.

Através da [Eq.5](#) determinou-se os valores referentes a F_s para cada uma das vias verticais de evacuação $F_{s(V1)}$ e $F_{s(V2)}$.

$$F_{s(V1)} = (78 \times 0,6) / 1,05 \\ = 44,57 \text{ pessoas/min} \\ / m^2 W_e$$

$$F_{s(V2)} = (78 \times 1,5) / 1,05 \\ = 111,43 \text{ pessoas/min} \\ / m^2 W_e$$

Através da tabela indicada na [Figura 6](#) determina-se o valor de F_{sm} para as vias verticais em estudo, de acordo com a largura e altura dos degraus das mesmas.

$$F_{sm} = 1,01 \times 60 = 60,60 \text{ pessoas/min} / m^2 W_e$$

$$F_{s(V1)} < F_{sm}$$

$$F_{s(V2)} > F_{sm}$$

Utiliza-se o valor de $F_{s(V1)}$ para o cálculo de $F_{c(V1)}$ e o valor de F_{sm} para o cálculo de $F_{c(V2)}$, de acordo com a [Eq.4](#).

$$F_{c(V1)} = 44,57 \times 1,05 \\ = 46,80 \text{ pessoas/min}$$

$$F_{c(V2)} = 60,60 \times 1,05 \\ = 63,63 \text{ pessoas/min}$$

De seguida determinou-se o valor da densidade D de acordo com os valores anteriormente definidos de $F_{s(V1)}$ e $F_{s(V2)}$, através da utilização da [Eq.6](#), para posterior cálculo da velocidade S verificada em cada uma destas vias verticais de evacuação, determinada através da [Eq.2](#). O valor de k é definido de acordo com a largura e altura dos degraus das vias verticais de evacuação, conforme representado na tabela da [Figura 5](#).

$$F_s = (1 - aD)kD \quad (6)$$

$$44,57 = ((1 - 0,266 \times D) \times 1,08 \times D) \\ \times 60 \Leftrightarrow D_{V1} = 0,91 m^2$$

$$60,60 = ((1 - 0,266 \times D) \times 1,08 \times D) \\ \times 60 \Leftrightarrow D_{V2} = 1,65 m^2$$

$$S_{V1} = (1,08 - 0,266 \times 1,08 \times 0,91) \times 60 \\ = 49,11 \text{ m/min}$$

$$S_{V2} = (1,08 - 0,266 \times 1,08 \times 1,65) \times 60 \\ = 36,36 \text{ m/min}$$

Foi determinada igualmente a distância d_1 e d_2 a vencer entre pisos consecutivos, incluindo patamares dos pisos (d_{p1} e d_{p2}) mais a altura neste caso entre o Piso 16º e o Piso 15º, h , para cada uma das vias verticais de evacuação V_1 e V_2 . A distância a percorrer a nível vertical é sujeito à multiplicação de um fator de conversão (F_c) estipulado na Tabela 4.2.6 da norma, que se representa na [Figura 7](#).

TABLE 4.2.6 Conversion Factors for Relating Line of Travel Distance to Vertical Travel for Various Stair Configurations

Stairs Riser (in. [mm])	Tread (in. [mm])	Conversion Factor
7.5 (190)	10.0 (254)	1.66
7.0 (178)	11.0 (279)	1.85
6.5 (165)	12.0 (305)	2.08
6.5 (165)	13.0 (330)	2.22

Fig.7 – Tabela 4.2.6 do Capítulo 2 da secção 4 da norma Handbook da NFPA 2008

Os valores finais de d_1 e d_2 foram determinados com base no representado na [Eq.7](#).

$$d_n = (h \times F_c) + d_{p1} + d_{p2} \quad (7)$$

$$d_1 = (3,85 \times 1,85) + 4,4 + 2 = 13,52m$$

$$d_2 = (3,85 \times 1,85) + 3,2 + 2 = 12,32m$$

Através da determinação dos valores de d_1 e d_2 , foi possível calcular o tempo necessário para efetuar a descida piso a piso, $t_{1(V1)}$ e $t_{2(V2)}$, para cada uma das vias verticais de evacuação, com base no representado na [Eq.8](#).

$$t_n = d_n / S_n \quad (8)$$

$$t_{1(V1)} = \frac{13,52}{49,11} = 0,28min = 16,52s$$

$$t_{2(V2)} = \frac{12,32}{36,36} = 0,34min = 20,33s$$

Verifica-se assim que na escada V_1 ao fim de 16,52s iremos ter $46,8 \times 0,28 \cong 13$ pessoas em espera para descer e na V_2 ao fim de 20,33s iremos ter $63,63 \times 0,34 \cong 22$ pessoas para descer esta via. Dado o edifício em estudo tratar-se de um edifício de grande ou muito grande altura, teremos de analisar qual o impacto da junção dos fluxos em cada piso a nível das suas vias verticais de evacuação. Nesse sentido teremos de determinar novamente os valores referentes a $F_{sout(V1)}$ e $F_{sout(V2)}$, tendo por base esta condicionante com recurso à utilização da Eq.5, a qual se reflete no seguinte:

$$F_{sout(V1)} = (F_{s(S1)} \times W_{e(S1)} + F_{sin(V1)} \times W_{ein(V1)}) / W_{eout(V1)}$$

$$W_{ein(V1)} = W_{eout(V1)} = W_{e(V1)}$$

$$F_{sin(V1)} = F_{s(V1)} = \frac{78 \times 0,6 + 44,57 \times 1,05}{1,05} = 89,20 \text{ pessoas/min} / m^2 W_e$$

$$F_{sout(V2)} = (F_{s(S2)} \times W_{e(S2)} + F_{sin(V2)} \times W_{ein(V2)}) / W_{eout(V2)}$$

$$W_{ein(V2)} = W_{eout(V2)} = W_{e(V2)}$$

$$F_{sin(V2)} = F_{s(V2)} = \frac{78 \times 1,5 + 60,60 \times 1,05}{1,05} = 172,03 \text{ pessoas/min} / m^2 W_e$$

Como,

$$F_{sout(V1)} > F_{sm} \text{ e}$$

$F_{sout(V2)} > F_{sm}$ utiliza-se o valor de F_{sm} para o cálculo de F_c através da Eq.4.

$$F_c = F_{c(V1)} = F_{c(V2)} = 60,60 \times 1,05 = 63,63 \text{ pessoas/min}$$

O raciocínio anteriormente exposto fez-se para todos os pisos até ao Piso 4, onde se previu a existência de uma zona de refúgio por onde as pessoas evacuaram. Para a determinação do tempo final de evacuação, considerou-se que todas as pessoas começaram a evacuar ao mesmo tempo, assumindo-se que o congestionamento nas escadas ocorreu cerca de 30s após se ter dado início à evacuação. O resultado final da

simulação encontra-se representado na [Tabela 5](#).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Resultados obtidos através do Pathfinder2015

Com a utilização do simulador *Pathfinder 2015*, obteve-se o resultado de 19min e 19s, para a simulação número 1 referida na [Tabela 2](#), ou seja para a situação que atualmente se verifica no Edifício, de evacuação de todos os pisos através das quatro saídas de emergência existentes no Piso 0, [Figura 8](#).

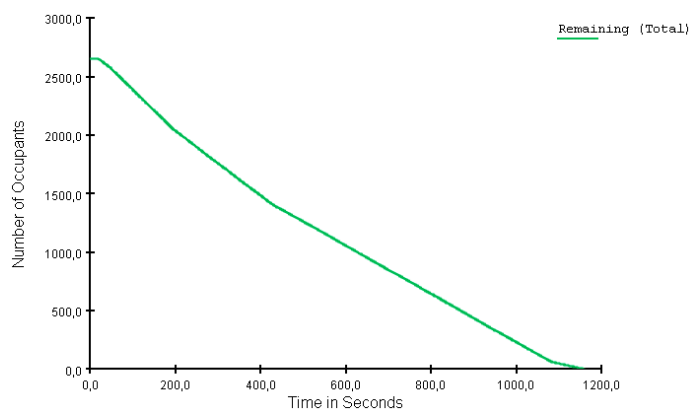


Fig.8 - Pathfinder 2015, tempo de evacuação (s) de acordo com o efetivo evacuado.

Foram efetuadas ainda simulações independentes para o edifício de escritórios e loja do cidadão, tendo-se obtido os seguintes resultados, 14min42s e 4min36s respetivamente. Comparativamente com o valor obtido no simulacro indicado no ponto 3.3, valor este obtido apenas para a evacuação do edifício de escritórios, não incluindo assim a loja do cidadão, verifica-se que existe um diferencial de apenas 42s. Não é possível efetuar uma comparação totalmente assertiva destes dois valores, uma vez que não nos é conhecido o valor do efetivo evacuado aquando do exercício de simulacro, de forma a verificar se se enquadra nos mesmos valores do definido na simulação obtida no *Pathfinder 2015*, no entanto o efetivo evacuado através do exercício de simulacro terá sido sempre inferior ao estabelecido na simulação.

4.2 – Resultados incluindo possível zona ou zonas de refúgio

De acordo com o *artigo n.º68 do RT-SCIE*, os edifícios considerados de grande ou muito grande altura, que é o caso do edifício em estudo, devem ser providos de zonas de refúgio. Nesse sentido foram efetuadas algumas simulações tendo por base a existência de uma única zona de refúgio a prever no Piso 4, e também de forma a ir de encontro com os critérios de localização definidos neste mesmo *artigo n.º 68*, simulações considerando a existência de duas zonas de refúgio localizadas no Piso 16 e Piso 4, cujos resultados se indicam na [Tabela 4](#).

Tabela 4 – Resultados das simulações efetuadas com recurso ao Pathfinder 2015, incluindo a possível existência de zonas de refúgio.

Simulação	Descrição	Resultado
1	Evacuação através de qualquer uma das S.E. existentes, incluindo zona de refúgio com 1 U.P. prevista no Piso 4.	25min26s
2	Evacuação do Piso 16 ao Piso 4 através da zona de refúgio com 1U.P. localizada no Piso 4, restantes pisos através das S.E. existentes no Piso 0.	22min53s
3	Evacuação através de qualquer uma das S.E. existentes, incluindo zona de refúgio com 2 U.P. prevista no Piso 4.	14min30s
4	Evacuação do Piso 16 ao Piso 4 através da zona de refúgio com 2U.P. localizada no Piso 4, restantes pisos através das S.E. existentes no Piso 0.	16min35s
5	Evacuação através de qualquer uma das S.E. existentes, incluindo zona de refúgio prevista no Piso 4, com inclusão de 2 S.E. neste piso com 1 U.P. cada.	12min40s
6	Evacuação do Piso 16 ao Piso 4 através da zona de refúgio prevista no Piso 4, com inclusão de 2 S.E. neste	12m18s

	piso com 1 U.P. cada, restantes pisos através das S.E. existentes no Piso 0.	
7	Evacuação através de qualquer uma das S.E. existentes, incluindo zonas de refúgio com 1 U.P. previstas no Piso 16 e Piso 4.	14min47s
8	Evacuação do Piso 16 ao Piso 10 através da zona de refúgio localizada no Piso 16 com 1 U.P., do Piso 9 ao Piso 4 através da zona de refúgio localizada no Piso 4 com 1 U.P., restantes pisos através das S.E. existentes no Piso 0.	13m13s
9	Evacuação dos Piso 16 ao Piso 4 (e apenas estes) através da zona de refúgio prevista para o Piso 4 com 1 U.P.	23min14s*

* simulação efetuada igualmente com o recurso à Norma NFPA “Calculation Methods for Egress Prediction - Chapter 2”

De acordo com os resultados das simulações anteriores, foi possível verificar que na maioria das situações, uma evacuação faseada e organizada por pisos diminuiu o tempo de evacuação total, isto deve-se ao facto de quando o comportamento definido se refere a uma evacuação para qualquer uma das saídas de emergência existentes, os ocupantes procuram sempre a saída mais próxima independentemente de esta estar ou não congestionada, conforme se verifica na [Figura 9](#).

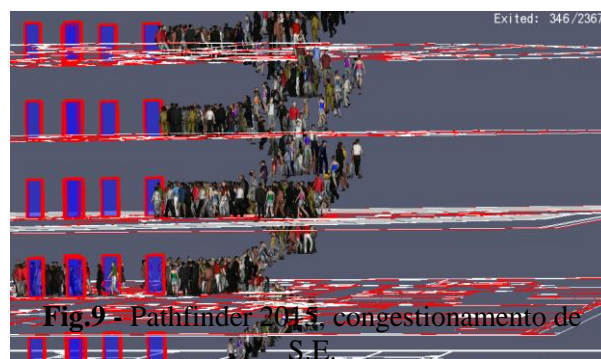


Fig.9 - Pathfinder 2015, congestionamento de S.E.

Verificou-se ainda que com a inclusão de zonas de refúgio com determinadas características, nomeadamente considerando apenas o Piso 4 como zona de refúgio, com duas portas distintas com 1U.P. cada uma, esta solução permite diminuir o tempo total de evacuação em cerca de 7min01s, ou seja 36,3% de otimização. Constatou-se ainda que é mais vantajoso a inclusão de duas saídas de emergência distintas no Piso 4 (zona de refúgio) com uma largura de 1U.P. relativamente à inclusão de apenas uma saída de emergência de maior largura, ou seja 2U.P., a otimização de tempo foi de cerca de 1min50s.

4.3 – Resultados obtidos através da Norma NFPA “Calculation Methods for Egress Prediction - Chapter 2”

De acordo com o exposto no ponto 3.5, foi realizada a Simulação 9 indicada na [Tabela 4](#), através de cálculo numérico com recurso ao capítulo 2 da secção 4 do Handbook da NFPA 2008 “Calculation Methods for Egress Prediction - Chapter 2”, cujos resultados finais se encontram indicados na [Tabela 5](#).

Tabela 5 – Resultados da simulação de evacuação do piso 16 ao piso 4 através da zona refúgio prevista para o Piso 4 com 1U.P., de acordo com a Handbook da NFPA 2008.

Evacuação Piso	tV_1	tV_2
Piso 16 – Piso 15	1min26s	1min15s
Piso 15 – Piso 14	2min24s	2min6s
Piso 14 – Piso 13	3min10s	2min42s
Piso 13 – Piso 12	3min44s	3min5s
Piso 12 – Piso 11	4min17s	3min28s
Piso 11 – Piso 10	4min44s	3min45s
Piso 10 – Piso 9	5min18s	4min6s
Piso 9 – Piso 8	5min48s	4min28s
Piso 8 – Piso 7	6min49s	5min18s
Piso 7 – Piso 6	7min19s	5min38s
Piso 6 – Piso 5	7min53s	6min2s
Piso 5 – Piso 4	8min29s	6min27s
Piso 4 – Refúgio (Piso 4)	1min40s*	-
Da V_1 - Refúgio (Piso 4)	22min19s	-
Da V_2 - Refúgio (Piso 4)	-	20min17s
Tempo Total	23min59s	21min57s

* - tempo previsto para o efetivo do Piso 4 chegar à zona de refúgio do Piso 4

Através da utilização deste cálculo numérico, foi possível verificar que o resultado obtido é muito semelhante ao determinado através da utilização do software *Pathfinder 2015*, havendo apenas um diferencial de 45s. Foi possível ainda constatar, que o tempo de evacuação referente à via vertical 2 (V_2) é inferior ao tempo de evacuação da via vertical 1 (V_1), esta situação deve-se ao facto de a porta de acesso à via vertical 2 (V_2) possuir uma largura de 1,8m (3U.P.) ao invés da porta de acesso à V_1 que possui uma largura de apenas 0,9m (1 U.P.). A diferença de tempos de evacuação entre V_1 e V_2 verificou-se de 2min02s.

4.4 – Recurso à utilização de elevadores em caso de incêndio

Apesar da legislação Portuguesa não admitir a possibilidade da utilização de elevadores em caso de incêndio, esta situação é permitida em alguns Países desde os anos 80 ([Kobes et al., 2010](#)). Estudos realizados ao desastre do WTC 9/11, verificaram que cerca de 3000 pessoas foram salvas através do recurso a elevadores na Torre Sul ([Kobes et al., 2010](#)).

Com base nestes fatores, foram efetuadas simulações para o caso de estudo, de forma a perceber até que ponto a utilização de elevadores beneficiaria a evacuação em edifícios de grande ou muito grande altura, principalmente no que se refere a crianças e pessoas limitadas na mobilidade. Os resultados encontram-se representados na [Tabela 6](#).

Tabela 6 – Pathfinder 2015 - Resultados das simulações de evacuação com recurso à utilização de elevadores.

Simulação	Descritivo	Resultado
1	Evacuação do Piso 16 através de elevadores, restantes pisos pelas S.E. existentes no Piso 0.	16min32s
2	Evacuação do Piso 16 e Piso 15 através de elevadores, restantes pisos pelas S.E. existentes no Piso 0.	15min36s
3	Evacuação do Piso 16, Piso 15 e Piso 14 através de elevadores, restantes pisos pelas S.E. existentes no Piso 0.	14min45s
4	Evacuação do Piso 16, Piso 15, Piso 14 e Piso 13 através de elevadores, restantes pisos pelas S.E. existentes no Piso 0.	15min18s
5	Evacuação do Piso 16, Piso 15, Piso 14, Piso 13 e Piso 12 através de elevadores, restantes pisos pelas S.E. existentes no Piso 0.	18min44s
6	Evacuação do Piso 16, Piso 15, Piso 14, Piso 13, Piso 12 e Piso 11 através de elevadores, restantes pisos pelas S.E. existentes no Piso 0.	21min41s

Com os resultados obtidos e indicados na [Tabela 6](#), foi possível verificar que apenas até ao Piso 12 seria vantajoso evacuar os ocupantes através do recurso ao uso dos elevadores existentes, uma vez que se incluirmos o Piso 11, o valor total de evacuação ultrapassa os 19min19s verificados para a simulação de evacuação total através da utilização apenas das vias verticais e horizontais de evacuação. Sendo o efetivo conjunto dos Pisos 16 a 12 de 538 pessoas, verifica-se que pelo menos 20% dos ocupantes neste edifício poderiam ser evacuados com recurso aos elevadores, percentagem esta que pode ser associada a pessoas limitadas na mobilidade e/ou crianças, o qual se prevê ser inferior à percentagem obtida na simulação.

Refira-se que a solução otimizada à utilização dos elevadores, corresponderia ao envolvimento apenas da evacuação dos

Pisos 16 ao 14, para os quais corresponde um tempo de 14min45s.

4.5 – Análise prescritiva Vs Desempenho

De acordo com o estudo efetuado, verificou-se que o resultado do tempo de evacuação do edifício de escritórios obtido através do simulador Pathfinder 2015 se encontra muito próximo do valor obtido no exercício de simulacro. No entanto não nos foi possível ter acesso ao efetivo que foi evacuado neste mesmo exercício pelo que não foi possível fazer uma análise mais concreta relativamente a estes resultados.

Comparando o valor obtido para a simulação 9 definida na Tabela 4 com o simulador Pathfinder e com o cálculo numérico realizado com a metodologia definida no capítulo 2 da secção 4 do Handbook da NFPA 2008 “Calculation Methods for Egress Prediction - Chapter 2”, este verificou-se muito semelhante. Com base nesta comparação e tendo por base a pesquisa de revisão sistemática realizada para edifícios considerados de grande e muito grande altura, o valor de tempo total de evacuação obtido pode ser considerado aceitável. Nesse sentido e apesar das não conformidades existentes definidas na [Tabela 2](#) pressupõe-se que o edifício, ao nível das suas condições de evacuação, pode ser considerado como adequado para as características que apresenta.

5. CONCLUSÕES E PESQUISA FUTURA

O caso de estudo escolhido, não se enquadra na sua totalidade de acordo com a legislação nacional atualmente em vigor, por se tratar de um edifício existente com as respetivas condicionantes arquitectónicas. Nesse sentido, o estudo da evacuação com recurso a simulador computacional e cálculo numérico, permitiu analisar se as vias de evacuação existentes podem ser consideradas suficientes para um edifício com estas características.

Existem ainda diversos fatores de estudo, que podem condicionar uma adequada evacuação. Entre eles destacam-se o tempo de notificação do alarme, tempo de reação ao alarme, que é variável de pessoa para pessoa, tempo de pré-evacuação, o

conhecimento ou não que os ocupantes tenham relativamente ao local onde se encontram, presença ou não de fumos, que dificultam também a visibilidade durante a evacuação, características dos ocupantes e existência ou não de limitações físicas ou outras, correta definição das S.E. e respetivas características de acordo com o efetivo a evacuar, local onde se inicia o incêndio havendo a possibilidade de obstrução imediata de S.E., obstáculos que possam existir nas vias de evacuação e respetivas saídas, existência de iluminação e sinalização de evacuação que permita de forma clara e objetiva a perceção do ponto de fuga mais adequado para a evacuação dos seus ocupantes, existência de sistemas automáticos de detecção de incêndio adequadamente definidos, os quais possibilitem diminuir o tempo de notificação do alarme, entre outros.

Em edifícios considerados de grande ou muito grande altura, o estudo de todos estes critérios revela-se fundamental para a concretização de uma evacuação rápida e segura para os seus ocupantes. Por outro lado, o estudo global de todas estas condicionantes pode igualmente tornar-se de elevada complexidade, devido à quantidade de variáveis em estudo e à sua adequada definição.

Para o presente caso de estudo teve-se em consideração os critérios considerados mais fundamentais para a análise proposta, ficando os restantes como pesquisa futura que se possa vir a realizar.

Com os resultados obtidos, constatou-se que a inclusão de zonas de refúgio e uma evacuação faseada, a ser garantida pela equipa de segurança estabelecida nas medidas de autoproteção, pode efetivamente otimizar o tempo de evacuação total do edifício.

De referir ainda a análise efetuada para a possível inclusão do uso de elevadores para evacuação, em edifícios de grande ou muito grande altura, de pessoas limitadas na mobilidade e/ou crianças. Esta situação teria de ser analisada caso a caso, bem como os elevadores em questão teriam de possuir determinadas características de segurança que permitissem a sua utilização nestas condições nomeadamente, ter uma

alimentação elétrica através de fonte autónoma que permitisse a sua continuidade de serviço em caso de corte de energia, definição de prioridades de evacuação dos pisos mais elevados para os menos elevados, entre outras.

No que se refere ao simulador utilizado, *Pathfinder 2015*, com a sua utilização permitiu verificar que se trata de um simulador que apresenta um simplificado interface com o utilizador, com a possibilidade de importação de ficheiros em formato *dwg*, visualização em 2D e 3D, bem como a exportação de um conjunto determinado de dados para diferentes cenários de estudo. No entanto verificou-se que existem também alguns inconvenientes na sua utilização, nomeadamente no percurso de evacuação em alguns cenários de evacuação, o qual se verificou que nem sempre foi otimizado, ou seja os ocupantes não procuraram a via mais favorável de evacuação mas apenas a mais próxima. Esta situação verificou-se na maioria das simulações onde o comportamento definido, foi a evacuação dos ocupantes para qualquer uma das saídas de emergência existentes. Outro dos inconvenientes foi a exigência computacional verificada para as simulações efetuadas, tendo em alguns casos demorado horas até finalizar as mesmas.

6. AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha família, amigos e colegas, que me apoiaram durante todo o percurso que levou à concretização deste objetivo. Agradeço ainda ao meu Orientador Professor Miguel Chichorro pelo incentivo e apoio durante esta jornada. Como agradecimento especial incluo ainda o Eng. José Vieira, o Dr. António Gomes (responsável pelo condomínio da Torre das Antas) e o Eng. Pedro Maia, cujas participações foram fundamentais para a recolha de informação relevante para o desenvolvimento deste artigo.

7. REFERÊNCIAS

- APSEI. (n.d.). <https://www.apsei.org.pt/recursos/estatisticas/>.
- Association, T. G. (2014). Fire and Climate Risk, (29), 12–15.

- BBC. (2017). London fire: What happened at Grenfell Tower? *Bbc*. Retrieved from <http://www.bbc.com/news/uk-england-london-40272168>
- Dec-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro - Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE). (2008). *Diário Da República / Official Journal of the Portuguese Republic*, 10–12.
- Decreto-Lei n.º 224/2015 de 9 de outubro, procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro, que aprova o regime jurídico da segurança contra incêndio em edifícios. (2015). *Diário Da República / Official Journal of the Portuguese Republic*, 1(198), 8740–8774. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Ding, Y., Yang, L., Weng, F., Fu, Z., & Rao, P. (2015). Investigation of combined stairs elevators evacuation strategies for high rise buildings based on simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2015.01.004>
- Incêndio do Chiado – Wikipédia, a enciclopédia livre. (n.d.). Retrieved from https://pt.wikipedia.org/wiki/Incêndio_do_Chiado
- Jeongin Koo, Yong Seog Kim, Byung-In Kim, & Christensen, K. M. (2013). A comparative study of evacuation strategies for people with disabilities in high-rise building evacuation. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 408–417.
- Kobes, M., Helsloot, I., de Vries, B., & Post, J. G. (2010). Building safety and human behaviour in fire: A literature review. *Fire Safety Journal*, 45(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.08.005>
- Portaria n.º 1532/2008 de 29 de dezembro - Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE). (2009), 9050–9127.
- Proulx, Guylène; L. Bryan, John; F. Fahy, Rita; K.Lathrop, James; J. Fruin, Jonh; Cohn, Bert; J. O'Connor, D. (n.d.). NFPA Handbook Section 4_20th_2008.
- RGEU. (n.d.).
- Ronchi, E. (Lund U., & Nilsson, D. (Lund U. (2013). Assessment of Total Evacuation Systems for Tall Buildings, (January), 45.
- Sagun, A., Bouchlaghem, D., & Anumba, C. J. (2011). Computer simulations vs. building guidance to enhance evacuation performance of buildings during emergency events. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(3), 1007–1019. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.simpat.2010.12.001>
- Thompson, P., Nilsson, D., Boyce, K., & McGrath, D. (2015). Evacuation models are running out of time . *Fire Safety Journal* , 78, 251–261. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.09.004>
- Vermuyten, H., Beliën, J., Boeck, L. De, Reniers, G., & Wauters, T. (2016). A review of optimisation models for pedestrian evacuation and design problems . *Safety Science* , 87, 167–178. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.001>
- Wu, G.-Y., & Huang, H.-C. (2015). Modeling the emergency evacuation of the high rise building based on the control volume model. *Safety Science*, 73. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.11.012>
- Yuan, J. P., Fang, Z., Wang, Y. C., Lo, S. M., & Wang, P. (2009). Integrated network approach of evacuation simulation for large complex buildings. *Fire Safety Journal*, 44(2), 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.07.004>

5 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

5.1 Conclusões

Com o estudo realizado à Torre das Antas, verificou-se que este não se enquadra na sua totalidade de acordo com a legislação de SCIE em vigor. Nesse sentido, a determinação do tempo total de evacuação com recurso a simuladores computacionais e cálculo numérico, no presente caso o *Pathfinder* e o capítulo 2 da secção 4 do Handbook da NFPA 2008 “Calculation Methods for Egress Prediction - Chapter 2”, respetivamente, permitiu numa análise considerada como baseada no desempenho, verificar se o tempo total de evacuação determinado pode ser considerado adequado para um edifício com estas características.

Constatou-se ainda que a inclusão de zonas de refúgio e uma evacuação faseada, pode efetivamente otimizar o tempo de evacuação total do edifício.

No que se refere ao simulador utilizado, *Pathfinder 2015*, com a sua utilização permitiu verificar que se trata de um simulador que apresenta um simplificado interface com o utilizador, com a possibilidade de importação de ficheiros em formato *dwg*, visualização em 2D e 3D, bem como a exportação de um conjunto determinado de dados para diferentes cenários de estudo. No entanto verificou-se que existem também alguns inconvenientes na sua utilização, nomeadamente no percurso de evacuação em alguns cenários de evacuação, o qual se verificou que nem sempre foi otimizado. Outro dos inconvenientes foi a exigência computacional verificada para as simulações efetuadas, tendo em alguns casos demorado horas até finalizar as mesmas.

5.2 Perspetivas Futuras

Conforme anteriormente referido, existem diversos fatores de estudo que podem condicionar uma adequada evacuação. Apesar da análise de todos estes fatores ser importante, esta deve ser previamente analisada caso a caso, de forma a verificar se se justifica a sua análise, uma vez que o estudo de todos estes critérios pode tornar o estudo em causa complexo, devido à quantidade de variáveis em estudo e à sua adequada definição.

Para o presente caso de estudo teve-se em consideração os critérios considerados mais fundamentais para a análise proposta, ficando os restantes como pesquisa futura que se possa vir a realizar.

De referir ainda a análise efetuada para a possível inclusão do uso de elevadores para evacuação, em edifícios de grande ou muito grande altura, para pessoas limitadas na mobilidade e/ou crianças, o qual em algumas situações pode ser considerado vantajoso.

Dado que o simulador *Pathfinder* permite uma interligação com o software *Pyrosim*, simulador este que analisa o efeito da presença de fumo durante a evacuação, o recurso a esta ferramenta em estudos futuros poderá proporcionar uma análise mais pormenorizada ao estudo realizado ou outros.

6 BIBLIOGRAFIA

- APSEI. (n.d.). <https://www.apsei.org.pt/recursos/estatisticas/>.
- Association, T. G. (2014). Fire and Climate Risk, (29), 12–15.
- BBC. (2017). London fire: What happened at Grenfell Tower? *Bbc*. Retrieved from <http://www.bbc.com/news/uk-england-london-40272168>
- Dec-Lei n.º220/2008 de 12 de Novembro - Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE). (2008). *Diário Da República / Official Journal of the Portuguese Republic*, 10–12.
- Decreto-Lei n.º 224/2015 de 9 de outubro, procede à primeira alteração ao Decreto -Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro, que aprova o regime jurídico da segurança contra incêndio em edifícios. (2015). *Diário Da República / Official Journal of the Portuguese Republic*, 1(198), 8740–8774. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Ding, Y., Yang, L., Weng, F., Fu, Z., & Rao, P. (2015). Investigation of combined stairs elevators evacuation strategies for high rise buildings based on simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2015.01.004>
- Incêndio do Chiado – Wikipédia, a enciclopédia livre. (n.d.). Retrieved from https://pt.wikipedia.org/wiki/Incêndio_do_Chiado
- Jeongin Koo, Yong Seog Kim, Byung-In Kim, & Christensen, K. M. (2013). A comparative study of evacuation strategies for people with disabilities in high-rise building evacuation. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 408–417.
- Kobes, M., Helsloot, I., de Vries, B., & Post, J. G. (2010). Building safety and human behaviour in fire: A literature review. *Fire Safety Journal*, 45(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.08.005>
- Portaria n.º 1532/2008 de 29 de dezembro - Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE). (2009), 9050–9127.
- Proulx, Guylène; L. Bryan, John; F. Fahy, Rita; K.Lathrop, James; J. Fruin, Jonh; Cohn, Bert; J. O'Connor, D. (n.d.). NFPA Handbook Section 4_20th_2008.
- RGEU. (n.d.).
- Ronchi, E. (Lund U., & Nilsson, D. (Lund U. (2013). Assessment of Total Evacuation Systems for Tall Buildings, (January), 45.
- Sagun, A., Bouchlaghem, D., & Anumba, C. J. (2011). Computer simulations vs. building guidance to enhance evacuation performance of buildings during emergency events. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(3), 1007–1019. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.simpat.2010.12.001>

Thompson, P., Nilsson, D., Boyce, K., & McGrath, D. (2015). Evacuation models are running out of time . *Fire Safety Journal* , 78, 251–261.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.09.004>

Vermuyten, H., Belin, J., Boeck, L. De, Reniers, G., & Wauters, T. (2016). A review of optimisation models for pedestrian evacuation and design problems . *Safety Science* , 87, 167–178. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.001>

Wu, G.-Y., & Huang, H.-C. (2015). Modeling the emergency evacuation of the high rise building based on the control volume model. *Safety Science*, 73. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.11.012>

Yuan, J. P., Fang, Z., Wang, Y. C., Lo, S. M., & Wang, P. (2009). Integrated network approach of evacuation simulation for large complex buildings. *Fire Safety Journal*, 44(2), 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.07.004>